



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑳ Aktenzeichen: P 42 27 819.8  
㉑ Anmeldetag: 21. 8. 92  
㉒ Offenlegungstag: 25. 2. 93

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
22.08.91 JP P 233790/91

㉑ Anmelder:  
Yamatake-Honeywell Co., Ltd., Tokio/Tokyo, JP

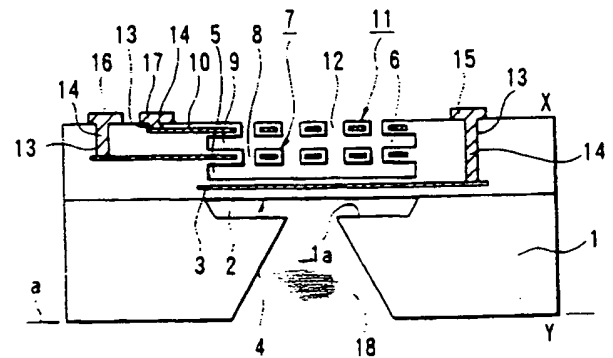
㉒ Vertreter:  
Kahler, K., Dipl.-Ing., 8948 Mindelheim; Käck, J.,  
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing., 8910 Landsberg;  
Fiener, J., Pat.-Anwälte, 8948 Mindelheim

㉑ Erfinder:  
Kimura, Shigeo; Ishikura, Yoshiyuki; Kuroiwa,  
Takaaki; Suetaka, Satoshi; Fukiura, Takeshi,  
Fujisawa, Kanagawa, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Kapazitiver Drucksensor

⑤⑦ Die Erfindung betrifft einen kapazitiven Drucksensor mit einem Substrat (1), das zumindest ein Durchgangsloch (18) oder eine Vertiefung (2) aufweist, das bzw. die in einer Fläche des Substrats (1) ausgebildet ist, einer ersten Dünnschichtmembran (4), die auf der einen Fläche des Substrats (1) ausgebildet ist und eine Elektrode (3) aufweist, einer zweiten Dünnschichtmembran (7), die über ein erstes hohles Teil (5) auf der ersten Dünnschichtmembran (4) ausgebildet ist und ein erstes Druckeinleitungsteil (8) sowie eine zweite Elektrode (6) aufweist, und einer dritten Dünnschichtmembran (11), die über ein zweites hohles Teil (9) auf der zweiten Dünnschichtmembran (7) ausgebildet ist und ein zweites mit dem ersten Druckeinleitungsteil (8) in Verbindung stehendes Druckeinleitungsteil (12) sowie eine dritte Elektrode (10) aufweist, wobei ein erster Kondensator zwischen der ersten und zweiten Elektrode (3, 6) und ein zweiter Kondensator zwischen der zweiten und dritten Elektrode (6, 10) ausgebildet ist. Hierdurch läßt sich ein kapazitiver Drucksensor mit einem kompakten Aufbau, einer hohen Empfindlichkeit und einer hohen Präzision bei niedrigen Kosten realisieren.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen kapazitiven Drucksensor mit einer Membranstruktur, der eine zu messende Druckänderung kapazitiv erfaßt.

Ein kapazitiver Drucksensor erfordert im allgemeinen einen Meß-Kondensatorabschnitt zum Erfassen eines zu messenden Drucks sowie einen Bezugs-Kondensatorabschnitt zur Korrektur von umgebungsabhängigen Kenndaten, die nicht auf dem zu messenden Druck beruhen.

Die JP 63-3 05 229 A offenbart z. B. einen konventionellen kapazitiven Drucksensor, der durch Verbinden einer Siliziumscheibe mit einer Glasscheibe hergestellt wird. Zur Ausbildung einer Kondensatorstruktur ist auf der Siliziumscheibe eine Membran angeordnet. An einem zentralen Teil dieser Kondensatorstruktur ist ein Meß-Kondensatorabschnitt und an dessen Umfangsteil ein Bezugs-Kondensatorabschnitt ausgebildet.

In der US 3 65 071 ist ein anderer kapazitiver Drucksensor offenbart, bei dem ein Meß-Kondensatorabschnitt und ein Bezugs-Kondensatorabschnitt nebeneinander auf einer Siliziumscheibe angeordnet sind.

Die vorstehend beschriebenen konventionellen kapazitiven Drucksensoren weisen jedoch eine Verbundstruktur auf, die aus einer Vielzahl von Schichten aus verbundenen Silizium-/Glasscheiben besteht. Infolge dieses Aufbaus ist eine große Anzahl an Komponenten erforderlich und sind die minimale Membrandicke und der minimale Spalt in der Praxis auf mehrere  $\mu\text{m}$  beschränkt. Demzufolge wird die Kapazität mit einer Verringerung der Sensorgröße vermindert, so daß sich eine Verschlechterung der Druckempfindlichkeit ergibt.

Außerdem ist bei dem kapazitiven Drucksensor, bei dem der Meß- und Bezugs-Kondensatorabschnitt nebeneinander auf der Siliziumscheibe angeordnet sind, eine große Chipfläche erforderlich, was eine Zunahme der Kosten zur Folge hat.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen kapazitiven Drucksensor vorzuschlagen, der einen kompakten Aufbau, eine hohe Empfindlichkeit und eine hohe Präzision bei niedrigen Kosten aufweist.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1, 2, 3 bzw. 4 gelöst.

Der kapazitive Drucksensor umfaßt einen Abschnitt, der einen Druck in ein elektrisches Signal umwandelt, sowie einen Abschnitt, der die umgebungsabhängigen Kenndaten, die nicht auf dem Druck beruhen, korrigiert. Diese Abschnitte sind vertikal integriert, indem drei Dünnschichtmembrane mit entsprechenden Elektroden derart gestapelt sind, daß die zweite Dünnschichtmembran über einen Hohlraum auf der ersten Dünnschichtmembran und die dritte Dünnschichtmembran über einen Hohlraum auf der zweiten Dünnschichtmembran ausgebildet sind.

Da gemäß der Erfindung wenigstens eine Dünnschichtmembran, die einen ersten und einen zweiten Kondensator ausbildet, entsprechend dem Druck verlagert wird, unterscheiden sich die Kapazitäten der beiden Kondensatoren in Abhängigkeit vom Druck voneinander.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1A eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem Ausführungsbeispiel verdeutlicht;

Fig. 1B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in

Fig. 1A:

Fig. 2 eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel verdeutlicht;

Fig. 2B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in Fig. 2A;

Fig. 3A eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel verdeutlicht;

Fig. 3B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in Fig. 3A;

Fig. 4A eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel verdeutlicht;

Fig. 4B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in Fig. 4A;

Fig. 5A eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel verdeutlicht;

Fig. 5B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in Fig. 5A;

Fig. 6A eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel verdeutlicht;

Fig. 6B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in Fig. 6A;

Fig. 7A eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel verdeutlicht;

Fig. 7B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in Fig. 7A;

Fig. 8A eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel verdeutlicht;

Fig. 8B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in Fig. 8A;

Fig. 9A eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel verdeutlicht;

Fig. 9B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in Fig. 9A;

Fig. 10 eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel verdeutlicht;

Fig. 10B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in Fig. 10A;

Fig. 11A eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel verdeutlicht;

Fig. 11B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in Fig. 11A;

Fig. 12A eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel aufzeigt;

Fig. 12B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in Fig. 12A;

Fig. 13A eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel verdeutlicht;

Fig. 13B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in Fig. 13A;

Fig. 14 eine Schnittansicht, die einen Schritt des Herstellungsverfahrens für den in den Fig. 1A und 1B gezeigten kapazitiven Drucksensor verdeutlicht;

Fig. 15 eine Schnittansicht, die einen anderen Schritt bei dem Verfahren in Fig. 14 verdeutlicht;

Fig. 16 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 14 darstellt;

Fig. 17 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 14 wiedergibt;

Fig. 18 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 14 verdeutlicht;

Fig. 19 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 14 aufzeigt;

Fig. 20 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 14 verdeutlicht;

Fig. 21 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 14 aufzeigt;

Fig. 22 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 14 wiedergibt;

Fig. 23 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 14 zeigt;

Fig. 24 eine Schnittansicht, die einen Schritt bei dem Herstellungsverfahren für den in den Fig. 4A und 4B gezeigten kapazitiven Drucksensor verdeutlicht;

Fig. 25 eine Schnittansicht, die einen anderen Schritt bei dem Verfahren in Fig. 24 verdeutlicht;

Fig. 26 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 24 wiedergibt;

Fig. 27 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 24 verdeutlicht;

Fig. 28 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 24 zeigt;

Fig. 29 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 24 aufzeigt;

Fig. 30 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 24 wiedergibt;

Fig. 31 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 24 wiedergibt;

Fig. 32A eine Draufsicht, die die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel verdeutlicht;

Fig. 32B eine Schnittansicht längs der Linie B-B' in Fig. 32A;

Fig. 33 eine Schnittansicht, die einen Schritt des Herstellungsverfahrens für den in den Fig. 32A und 32B gezeigten kapazitiven Drucksensor verdeutlicht;

Fig. 34 eine Schnittansicht, die einen anderen Schritt bei dem Verfahren in Fig. 33 aufzeigt;

Fig. 35 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 33 wiedergibt;

Fig. 36 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 33 verdeutlicht;

Fig. 37 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 33 wiedergibt;

Fig. 38 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 33 verdeutlicht; und

Fig. 39 eine Schnittansicht, die einen weiteren Schritt bei dem Verfahren in Fig. 33 wiedergibt.

Die Fig. 1B und 1B zeigen die Anordnung eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Wie aus den Fig. 1A und 1B ersichtlich, ist in einem zentralen Teil der Oberfläche als einer Fläche eines Substrats 1 ein Spalt 2 als flacher dritter Hohlraum bzw. Zwischenraum ausgebildet. Dieser Zwischenraum weist eine nahezu rechteckige Gestalt auf und ist im Querschnitt U-förmig ausgebildet. Auf der Oberfläche des Substrats 1 ist über dem Spalt 2 eine erste Dünnschichtmembran 4 mit einer Verbundstruktur ausgebildet, die aus einer ersten Dünnschichtelektrode 3 besteht, die zwischen Isolierschichten angeordnet ist. Ein Umfangsteil der ersten Dünnschichtelektrode 3 stellt ein ortsfestes Teil dar, während deren zentrales Teil als bewegliches Teil dient. Über der ersten Membran 4 ist über einen Spalt 5 als flacher erster Hohlraum eine zweite Membran 7 mit einer Verbund-

struktur und einer nahezu rechteckigen Gestalt als Ganzes ausgebildet. Diese Verbundstruktur besteht aus einer zweiten Dünnschichtelektrode 6, die zwischen Isolierschichten angeordnet ist. Um eine Verbindung mit dem Spalt 5 über die Isolierschichten und die zweite Elektrode 6 zu ermöglichen, ist in der zweiten Membran 7 eine Vielzahl von zweiten Druckeinleitungslöchern 8 ausgebildet. Ein dritte Membran 11 mit einer Verbundstruktur und einer nahezu rechteckigen Gestalt als Ganzes ist oberhalb der zweiten Membran 7 über einen Spalt 9 als zweiten flachen Hohlraum ausgebildet. Diese Verbundstruktur besteht aus einer dritten Dünnschichtelektrode 10, die zwischen Isolierschichten eingelegt ist. In der dritten Membran 11 ist außerdem eine Vielzahl von dritten Druckeinleitungslöchern 12 ausgebildet, um über die Isolierschichten und die dritte Elektrode 10 mit dem Spalt 9 in Verbindung zu stehen. Es ist zu bemerken, daß in diesem Fall die Positionen der zweiten Druckeinleitungslöcher 8 und jene der dritten Druckeinleitungslöcher 12 miteinander fluchten. Außerdem sind in der dritten auf dem Substrat angeordneten Membran 11 Löcher 13 ausgebildet, die durch die entsprechenden Isolierschichten hindurch mit der ersten, zweiten bzw. dritten Elektrode in Verbindung stehen. In diese Öffnungen 13 sind entsprechende Leiterelemente 14 eingebettet. Auf den Leiterelementen 14 sind entsprechende Elektrodenanschlüsse 15, 16 und 17 ausgebildet, die mit den Elektroden 3, 6 bzw. 10 elektrisch verbunden sind. In der unteren Fläche des Substrats 1 ist ein erstes Druckeinleitungsloch 18 ausgebildet, das mit dem Spalt 2 in Verbindung steht.

Bei einem derartigen Aufbau wird der Meßabschnitt von einem ersten Kondensator gebildet, bei dem die erste zwischen die dünnen Isolierschichten angeordnete Elektrode 3 und die zweite zwischen den dünnen Isolierschichten angeordnete Elektrode 6 sich über den Spalt 5 gegenüberliegen, während ein Bezugsabschnitt von einem zweiten Kondensator gebildet wird, bei dem die zweite zwischen die dünnen Isolierschichten eingelegte Elektrode 6 und die dritte zwischen die dünnen Isolierschichten eingelegte Elektrode 10 sich über den Spalt 9 gegenüberliegen. Eine Fläche a des Substrats 1 ist so hermetisch abgedichtet, daß die Umgebungen X und Y über die erste Membran voneinander getrennt sind. Bei diesem Aufbau ändert sich die Form der zweiten und dritten Membran infolge einer zwischen den Umgebungen X und Y herrschenden Druckdifferenz nicht, jedoch wird die erste Membran 4 durchgebogen, so daß der Druck durch Erfassen der durch diese Membranversetzung bedingten Kapazitätsänderung des ersten Kondensators ermittelt werden kann. Wird z. B. ein Druck von der Umgebung X auf die Umgebung Y ausgeübt, so wird die erste Membran 4 nach unten verformt. Demzufolge wird die Kapazität des ersten Kondensators verringert und der Druck kann somit ermittelt werden. In diesem Fall ändert sich die Kapazität des zweiten Kondensators nicht. Falls das zu messende Medium Feuchtigkeit oder andere Gase enthält, so ändern sich die Kapazitäten des ersten und zweiten Kondensators in gleicher Weise. Werden demzufolge die Ausgangsgrößen des ersten und zweiten Kondensators voneinander subtrahiert, so können die von der Feuchtigkeit abhängigen Kenndaten des Basis-Kondensators korrigiert werden. Da ferner der Meßabschnitt und der Bezugsabschnitt in der gleichen Umgebung vorliegen, kann eine Bezugsfunktion selbst dann sichergestellt werden, wenn sich die Umgebungen X und Y unterscheiden.

Falls entsprechend einem derartigen Aufbau ein

Druck auf der Seite der Umgebung X größer als ein Druck auf der Seite der Umgebung Y ist, so stellt ein Stufenteil 1a, das den Spalt 2 im Substrat 1 ausbildet, einen festen Anschlag dar. Falls ein Druck auf der Seite der Umgebung X niedriger als ein Druck auf der Seite der Umgebung Y ist, so bilden die zweite und dritte Membran 7 und 11 einen Anschlag. Mit Hilfe dieses Aufbaus kann eine Festigkeit gegenüber übermäßigen, auf beiden Seiten wirkenden Drücken sichergestellt werden. Wie aus den Fig. 1A und 1B ersichtlich, fluchten die in der dritten Membran 11 ausgebildeten Druckeinleitungslöcher 12 mit den in der zweiten Membran 7 ausgebildeten Druckeinleitungslöchern 8, wobei diese Löcher über dem Spalt 5 bzw. 9 in gleichem Abstand voneinander angeordnet sind. Mit Hilfe dieses Aufbaus kann die erforderliche unterschrittene Länge für die Ätzung verringert werden, so daß somit die Spalte 5 und 9 zuverlässig ausgebildet werden können. Da ferner die Gesamtfläche der zweiten und dritten Druckeinleitungslöcher 8 und 12 gering ist, kann eine Verringerung der Kapazität im Vergleich zu dem Fall minimiert werden, bei dem die Druckeinleitungslöcher 8 und 12 nicht ausgebildet sind.

Die Fig. 2A und 2B zeigen den Aufbau eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei gleiche Bezugszeichen in den Fig. 2A und 2B entsprechende gleiche Teile in den Fig. 1A und 1B kennzeichnen. Der in den Fig. 2A und 2B gezeigte Aufbau unterscheidet sich von dem in den Fig. 1A und 1B gezeigten Aufbau dadurch, daß in der dritten Membran 11 die in Fig. 1B gezeigten dritten Druckeinleitungslöcher 12 nicht ausgebildet sind. Eine Fläche a eines Substrats 1 ist ferner so hermetisch abgedichtet, daß die Umgebungen X und Y über eine erste Membran 4 und die dritte Membran 11 voneinander getrennt sind. In der gleichen Umgebung (abgedichteter Teil) sind zwei Meßabschnitte ausgebildet, die durch einen ersten und einen zweiten Kondensator gebildet werden. Der erste Kondensator besteht aus einer ersten Elektrode 3 und einer zweiten Elektrode 6 und der zweite Kondensator aus der zweiten Elektrode 6 und einer dritten Elektrode 10.

Bei diesem Aufbau wird die zweite Membran 7 nicht verformt, während die dritte Membran 11 infolge der Druckdifferenz zwischen der Umgebung X und dem abgedichteten Teil und die erste Membran 4 infolge der Druckdifferenz zwischen der Umgebung X und dem abgedichteten Teil durchgebogen wird.

Da bei einem solchen Aufbau die Meßabschnitte in der abgedichteten Umgebung liegen, werden ihre Ausgangskennwerte nicht durch die Gasarten in den Umgebungen X und Y beeinflusst. Da ferner die Elektroden, die die beiden Meßabschnitte darstellen, in gleicher Form ausgebildet werden können, können die Kapazitäten der beiden Meßabschnitte einfach aufeinander abgeglichen werden.

Die Fig. 3A und 3B zeigen den Aufbau eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei gleiche Bezugszeichen in den Fig. 3A und 3B die entsprechenden gleichen Teile in den Fig. 1A und 1B bezeichnen. Der in den Fig. 3A und 3B gezeigte Aufbau unterscheidet sich von dem in den Fig. 1A und 1B gezeigten Aufbau dadurch, daß ein erstes Druckeinleitungsloch 18A mit einer großen Öffnung in einem zentralen Teil der unteren Fläche bzw. einer Fläche eines Substrats 1 anstelle des Spalts 2 ausgebildet ist, wodurch ein geeignetes bewegliches Membranteil gebildet wird. Außerdem ist eine Fläche a des

Substrats 1 so hermetisch abgedichtet, daß die Umgebungen X und Y durch die erste Membran 4 voneinander getrennt sind. In der gleichen Umgebung (Umgebung X) sind ein Meßabschnitt, der von einem ersten Kondensator gebildet wird, und ein Bezugsabschnitt, der von einem zweiten Kondensator gebildet wird, vorgesehen. Der erste Kondensator besteht aus einer ersten Elektrode 3 und einer zweiten Elektrode 6, während der zweite Kondensator aus der zweiten Elektrode 6 und einer dritten Elektrode 10 besteht.

Bei diesem Aufbau werden die zweite und dritte Membran 7 und 11 durch den Druckunterschied zwischen den Umgebungen X und Y nicht verformt, während die erste Membran 4 durchgebogen wird. Da ferner der Meßabschnitt und der Bezugsabschnitt sich in der gleichen Umgebung befinden, kann selbst dann eine Bezugsfunktion sichergestellt werden, wenn die Umgebungen X und Y unterschiedlicher Art sind.

Falls bei einem solchen Aufbau ein Druck auf der Seite der Umgebung X niedriger als ein Druck auf der Seite der Umgebung Y ist, bilden die zweite und dritte Membran 7 und 11 einen Anschlag. Außerdem fluchten die Druckeinleitungslöcher 12 in der dritten Membran 11 mit den Druckeinleitungslöchern 8 in der zweiten Membran 7, wobei diese Löcher über dem Spalt 5 bzw. 9 in gleichem Abstand voneinander angeordnet sind. Mit Hilfe dieses Aufbaus kann die erforderliche unterschrittene Länge für die Ätzung verringert und somit die Spalte 5 und 9 zuverlässig ausgebildet werden. Da ferner die Gesamtfläche der zweiten und dritten Druckeinleitungslöcher 8 und 12 gering ist, kann eine Verringerung der Kapazität im Vergleich zu dem Fall minimiert werden, bei dem die Druckeinleitungslöcher 8 und 12 nicht ausgebildet sind. Da ein Schutzmechanismus gegen einen übermäßigen Druck nur gegen einen Druck auf der Seite der Umgebung Y wirkt, ist demzufolge die Verwendung dieses Sensors beschränkt. Jedoch ist die Herstellung des Sensors im Vergleich zu dem in den Fig. 1A und 1B gezeigten Aufbau einfacher, wobei die erste Membran 4 ohne Stufenteil auf einfache Weise flach ausgebildet werden kann.

Die Fig. 4A und 4B zeigen den Aufbau eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei gleiche Bezugszeichen in den Fig. 4A und 4B entsprechende gleiche Teile in den Fig. 1A und 1B bezeichnen. Der in den Fig. 4A und 4B gezeigte Aufbau unterscheidet sich von dem in den Fig. 1A und 1B gezeigten Aufbau dadurch, daß das erste mit dem Spalt 2 in Verbindung stehende Druckeinleitungsloch 18 nicht in der unteren Fläche bzw. der anderen Fläche eines Substrats 1 ausgebildet ist, um den Spalt 2 hermetisch abzudichten, wodurch ein Absolutdrucksensor ausgebildet wird. Außerdem sind in der gleichen Umgebung (Umgebung X) ein durch einen ersten Kondensator gebildeter Meßabschnitt und ein durch einen zweiten Kondensator gebildeter Bezugsabschnitt ausgebildet. Der erste Kondensator besteht aus einer ersten Elektrode 3 und einer zweiten Elektrode 6, während der zweite Kondensator aus der zweiten Elektrode 6 und einer dritten Elektrode 10 besteht.

Mit Hilfe dieser Anordnung können die gleichen Wirkungen wie oben beschrieben erzielt werden. Um einem übermäßigen Druck standhalten zu können, kann an einem Stufenteil 1a des Substrats 1 ein fester Anschlag ausgebildet werden.

Die Fig. 5A und 5B zeigen den Aufbau eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei die gleichen Bezugszeichen

chen in den Fig. 5A und 5B entsprechende gleiche Teile in den Fig. 1A und 1B bezeichnen. Der in den Fig. 5A und 5B gezeigte Aufbau unterscheidet sich von dem in den Fig. 1A und 1B gezeigten Aufbau dadurch, daß ein zweites Druckeinleitungsloch B horizontal in einer zweiten Membran 7 ausgebildet ist, das mit dem Spalt 5 in Verbindung steht, und ein drittes Druckeinleitungsloch 12 horizontal in einer dritten Membran 11 ausgebildet ist, das mit dem Spalt 9 in Verbindung steht. Ferner ist eine Fläche a eines Substrats 1 hermetisch abgedichtet, so daß die Umgebungen X und Y über eine erste Membran 4 voneinander getrennt sind. In der gleichen Umgebung (Umgebung X) sind ein Meßabschnitt, der einen ersten Kondensator aufweist, und ein Bezugsabschnitt, der einen zweiten Kondensator aufweist, ausgebildet. Der erste Kondensator besteht aus einer ersten Elektrode 3 und einer zweiten Elektrode 6, während der zweite Kondensator aus der zweiten Elektrode 6 und einer dritten Elektrode 10 besteht.

Bei diesem Ausführungsbeispiel werden die zweite und dritte Membran 7 und 11 infolge des Druckunterschieds zwischen den Umgebungen X und Y nicht verformt, während die erste Membran 4 durchgebogen wird. Da außerdem der Meßabschnitt und der Bezugsabschnitt sich in der gleichen Umgebung befinden, kann selbst dann eine Bezugsfunktion sichergestellt werden, falls die Umgebungen X und Y von unterschiedlicher Art sind.

Ist bei einem solchen Aufbau ein Druck auf der Seite der Umgebung X höher als ein Druck auf der Seite der Umgebung Y, so bildet das Stufenteil 1a des Substrats 1 einen festen Anschlag. Ist ein Druck auf der Seite der Umgebung X geringer als ein Druck auf der Seite der Umgebung Y, so bilden die zweite und die dritte Membran 7 und 11 einen Anschlag aus. Da das zweite Druckeinleitungsloch 8 horizontal in der zweiten Membran 7 ausgebildet ist, um mit dem Spalt 5 in Verbindung zu stehen, und das dritte Druckeinleitungsloch 12 horizontal in der dritten Membran 11 ausgebildet ist, um mit dem Spalt 9 in Verbindung zu stehen, können die Spalte 5 und 9 und das zweite und dritte Druckeinleitungsloch 8 und 12 im gleichen Herstellungsschritt ausgebildet werden. Da ferner die Elektroden, die die Bezugsselektroden darstellen, in gleicher Form hergestellt werden können, können die Kapazitäten der beiden Abschnitte auf einfache Weise aufeinander abgestimmt werden.

Die Fig. 6A und 6B zeigen den Aufbau eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel, wobei die gleichen Bezugszeichen in den Fig. 6A und 6B entsprechende gleiche Teile in den Fig. 1A und 1B bezeichnen. Der in den Fig. 6A und 6B gezeigte Aufbau unterscheidet sich von dem in den Fig. 1A und 1B gezeigten Aufbau dadurch, daß die in Fig. 1B gezeigten dritten Druckeinleitungs Löcher 12 in der dritten Membran 11 nicht ausgebildet sind, daß ein erstes Druckeinleitungsloch 18A mit einer relativ großen Öffnung in der anderen Fläche des Substrats 1 ausgebildet ist, und zwar ohne Ausbildung des Stufenteils 1a in der einen Fläche des Substrats 1, und daß vierte Druckeinleitungs Löcher 19, die mit dem ersten Druckeinleitungsloch 18A in Verbindung stehen, in einer ersten Membran 4 ausgebildet sind. Eine Fläche a des Substrats 1 ist hermetisch abgedichtet, so daß die Umgebungen X und Y über eine dritte Membran 11 voneinander getrennt sind. In der gleichen Umgebung (Umgebung Y) sind ein Meßabschnitt, der einen zweiten Kondensator aufweist, und ein Bezugsabschnitt, der einen ersten Kondensator aufweist, ausgebildet. Der zweite

Kondensator besteht aus einer zweiten Elektrode 6 und einer dritten Elektrode 10. Der erste Kondensator besteht aus einer ersten Elektrode 3 und der zweiten Elektrode 6.

Bei diesem Aufbau werden die erste und zweite Membran 4 und 7 infolge des Druckunterschieds zwischen den Umgebungen X und Y nicht verformt, während die dritte Membran 11 durchgebogen wird. Da außerdem der Meßabschnitt und der Bezugsabschnitt sich in der gleichen Umgebung befinden, kann selbst dann eine Bezugsfunktion sichergestellt werden, wenn die Umgebungen X und Y von unterschiedlicher Art sind.

Ist bei einem solchen Aufbau ein Druck auf der Seite der Umgebung X höher als ein Druck auf der Seite der Umgebung Y, so bilden die erste und zweite Membran 4 und 7 einen Anschlag. Da außerdem eine Ätzlösung-Einführöffnung, die bei einem Herstellungsschritt verwendet wird, infolge des ersten Druckeinleitungsloches 18A verbreitert wird, wird die Herstellung des Sensors im Vergleich zu dem in den Fig. 1A und 1B gezeigten Aufbau vereinfacht, und die erste Membran 4 kann auf einfache Weise eben und flach ohne Ausbildung von Stufenteilen ausgebildet werden. Ferner fluchten die in der ersten Membran 4 ausgebildeten Druckeinleitungs Löcher 19 mit den in der zweiten Membran 7 ausgebildeten Druckeinleitungs Löchern 8, wobei die Löcher in gleichem Abstand unter dem Spalt 5 bzw. 9 angeordnet sind. Mit Hilfe dieses Aufbaus kann die erforderliche unterschrittene Ätzlänge verringert werden, wodurch die Spalte 5 und 9 somit zuverlässig ausgebildet werden können. Da die Gesamtfläche der vierten und zweiten Druckeinleitungs Löcher 19 und 8 klein ist, kann eine Kapazitätsverringernug im Vergleich zu dem Fall minimiert werden, bei dem die Druckeinleitungs Löcher 19 und 8 nicht vorgesehen sind. Ferner kann durch diesen Aufbau vermieden werden, daß Staub in die Umgebung X eindringt.

Die Fig. 7A und 7B zeigen den Aufbau eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel, wobei die gleichen Bezugszeichen in den Fig. 7A und 7B entsprechend gleiche Teile in den Fig. 6A und 6B bezeichnen. Der in den Fig. 7A und 7B gezeigte Aufbau unterscheidet sich von dem in den Fig. 6A und 6B gezeigten Aufbau darin, daß in einer Fläche eines Substrats 1 ein erstes Druckeinleitungsloch 18 mit einem Spalt 2 ausgebildet ist. Außerdem ist eine Fläche a des Substrats 1 hermetisch abgedichtet, so daß die Umgebungen X und Y über die dritte Membran 11 voneinander getrennt sind. In der gleichen Umgebung (Umgebung Y) sind ein Meßabschnitt, der einen zweiten Kondensator aufweist, und ein Bezugsabschnitt, der einen ersten Kondensator aufweist, ausgebildet. Der zweite Kondensator besteht aus einer zweiten Elektrode 6 und einer dritten Elektrode 10. Der erste Kondensator besteht aus einer ersten Elektrode 3 und der zweiten Elektrode 6.

Bei diesem Aufbau werden die erste und zweite Membran 4 und 7 infolge des Druckunterschieds zwischen den Umgebungen X und Y nicht verformt, während die dritte Membran 11 durchgebogen wird. Da außerdem der Meßabschnitt und der Bezugsabschnitt in der gleichen Umgebung angeordnet sind, kann selbst dann eine Bezugsfunktion sichergestellt werden, falls die Umgebungen X und Y von unterschiedlicher Art sind.

Ist bei einem solchen Aufbau ein Druck auf der Seite der Umgebung X höher als ein Druck auf der Seite der

Umgebung Y, so bilden die erste und zweite Membran 4 und 7 sowie ein Stufenteil 1a des Substrats 1 einen festen Anschlag. Falls die Öffnung des ersten Druckeinleitungsloches 18 in der Fläche a des Substrats 1 verringert wird, kann die Chipgröße des Substrats 1 verkleinert werden. Ferner fluchten die in der ersten Membran 4 ausgebildeten Druckeinleitungslöcher 19 mit den in der zweiten Membran 7 ausgebildeten Druckeinleitungslöchern 8, wobei die Löcher in gleichem Abstand unter dem Spalt 5 bzw. 9 angeordnet sind. Mit Hilfe dieses Aufbaus kann die erforderliche unterschrittene Ätzlänge verringert werden, so daß die Spalte 5 und 9 zuverlässig ausgebildet werden können. Infolge eines Spalts 2 kann die Einführöffnung für die Ätzlösung verbreitert werden. Da die Gesamtfläche der vierten und zweiten Druckeinleitungslöcher 19 und 8 klein ist, kann die Kapazitätsverringering im Vergleich zu dem Fall minimiert werden, bei dem die Druckeinleitungslöcher 19 und 8 nicht vorgesehen sind.

Die Fig. 8A und 8B zeigen den Aufbau eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei die gleichen Bezugszeichen in den Fig. 8A und 8B entsprechend gleiche Teile in den Fig. 2A und 2b bezeichnen. Der in den Fig. 8A und 8B gezeigte Aufbau unterscheidet sich von dem Aufbau in den Fig. 2A und 2B dadurch, daß eine erste Membran 4 mit einem vierten Druckeinleitungsloch 19, das mit einem ersten Druckeinleitungsloch 18 in Verbindung steht, auf einer Fläche eines Substrats 1 ausgebildet ist, während der Spalt 2 in Fig. 2B nicht vorgesehen ist. Außerdem ist eine Fläche a des Substrats 1 so hermetisch abgedichtet, daß die Umgebungen X und Y über eine dritte Membran 11 voneinander getrennt sind. In der gleichen Umgebung (Umgebung Y) sind ein Meßabschnitt, der einen zweiten Kondensator aufweist, und ein Bezugsabschnitt, der einen ersten Kondensator aufweist, ausgebildet. Der zweite Kondensator besteht aus einer zweiten Elektrode 6 und einer dritten Elektrode 10. Der erste Kondensator besteht aus einer ersten Elektrode 3 und der zweiten Elektrode 6.

Bei diesem Aufbau werden die erste und zweite Membran 4 und 7 infolge des Druckunterschieds zwischen den Umgebungen X und Y nicht verformt, wohingegen die dritte Membran 11 durchgebogen wird. Da außerdem die Meß- und Bezugsabschnitte in der gleichen Umgebung angeordnet sind, kann selbst dann ein Bezugsfunktion sichergestellt werden, falls die Umgebungen X und Y von unterschiedlicher Art sind.

Ist bei einem solchen Aufbau ein Druck auf der Seite der Umgebung X höher als ein Druck auf der Seite der Umgebung Y, so bilden die erste und zweite Membran 4 und 7 sowie das Substrat 1 einen festen Anschlag. Da die Gesamtfläche der zweiten Druckeinleitungslöcher 8 gering ist, kann eine Kapazitätsverringering im Vergleich zu dem Fall minimiert werden, bei dem die Druckeinleitungslöcher 8 nicht ausgebildet sind. Außerdem kann, wie mit Bezug auf die Fig. 3A und 3B beschrieben, die erste Membran 4 flach ausgebildet werden, und zwar ohne Ausbildung des Stufenteils 1a des Substrats 1.

Die Fig. 9A und 9B zeigen den Aufbau eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel, wobei die gleichen Bezugszeichen in den Fig. 9A und 9B entsprechend gleiche Teile in den Fig. 5A und 5B bezeichnen. Der in den Fig. 9A und 9B gezeigte Aufbau unterscheidet sich von dem in den Fig. 5A und 5B gezeigten Aufbau dadurch, daß ein viertes Druckeinleitungsloch 19 in einer ersten Membran, die auf der einen Fläche des Substrats 1 ausgebildet ist,

und ein zweites Druckeinleitungsloch 8 in einer zweiten Membran 7 in Fortführung des ersten Druckeinleitungsloches 18 ausgebildet sind, wobei kein Spalt 2 vorgesehen ist. Eine Fläche a des Substrats 1 ist hermetisch so abgedichtet, daß die Umgebungen X und Y über eine dritte Membran 11 voneinander getrennt sind. In der gleichen Umgebung (Umgebung Y) sind ein Meßabschnitt, der einen zweiten Kondensator aufweist, und ein Bezugsabschnitt, der einen ersten Kondensator aufweist, ausgebildet. Der zweite Kondensator besteht aus einer zweiten Elektrode 6 und einer dritten Elektrode 10. Der erste Kondensator besteht aus einer ersten Elektrode 3 und der zweiten Elektrode 6.

Bei diesem Aufbau werden die erste und zweite Membran 4 und 7 infolge des Druckunterschieds zwischen den Umgebungen X und Y nicht verformt, wohingegen die dritte Membran 11 durchgebogen wird. Da außerdem die Meß- und Bezugsabschnitte sich in der gleichen Umgebung befinden, kann selbst dann eine Bezugsfunktion sichergestellt werden, falls die Umgebungen X und Y von unterschiedlicher Art sind.

Ist bei einem solchen Aufbau ein Druck auf der Seite der Umgebung X höher als ein Druck auf der Seite der Umgebung Y, so bilden die erste und zweite Membran 4 und 7 sowie das Substrat 1 einen festen Anschlag aus. Außerdem kann, wie mit Bezug auf die Fig. 3A und 3B beschrieben, die erste Membran 4 flach ohne das Stufenteil 1a ausgebildet werden. Da ferner die Elektroden, die die Meß- und Bezugsabschnitte aufweisen, in gleicher Form ausgebildet werden können, können die Kapazitäten der beiden Abschnitte auf einfache Weise aufeinander abgeglichen werden.

Die Fig. 10A und 10B zeigen den Aufbau eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel, wobei die gleichen Bezugszeichen in den Fig. 10A und 10B entsprechend gleiche Teile in den Fig. 1A und 1B bezeichnen. Der in den Fig. 10A und 10b gezeigte Aufbau unterscheidet sich von dem in den Fig. 1A und 1b gezeigten Aufbau dadurch, daß ein erstes Druckeinleitungsloch 18A mit einer großen Öffnung in der einen Fläche des Substrats 1 anstelle des Spalts 2 ausgebildet ist und daß eine erste Membran 4, in der vierte Druckeinleitungslöcher 19 ausgebildet sind, die mit dem ersten Druckeinleitungsloch 18A in Verbindung stehen, eine zweite Membran 7, in der keine Druckeinleitungslöcher vorgesehen sind, und eine dritte Membran 11, in der dritte Druckeinleitungslöcher 12 ausgebildet sind, übereinandergestapelt sind und dadurch ein geeignetes Teil mit beweglicher Membran ausbilden. Außerdem ist eine Fläche a eines Substrats 1 so hermetisch abgedichtet, daß die Umgebungen X und Y über die zweite Membran 7 voneinander getrennt sind. In unterschiedlichen Umgebungen (Umgebung X und Y) sind somit zwei Meßabschnitte bzw. -teile ausgebildet, die einen ersten bzw. einen zweiten Kondensator einschließen. Der erste Kondensator besteht aus einer ersten Elektrode 3 und einer zweiten Elektrode 6. Der zweite Kondensator besteht aus der zweiten Elektrode 6 und einer dritten Elektrode 10.

Bei diesem Ausführungsbeispiel werden die erste und dritte Membran 4 und 11 infolge des Druckunterschieds zwischen den Umgebungen X und Y nicht verformt, wohingegen die zweite Membran 7 durchgebogen wird.

Ist bei einem solchen Aufbau ein Druck auf der Seite der Umgebung X höher als ein Druck auf der Seite der Umgebung Y, so bildet die erste Membran 4 einen Anschlag. Mit einer Druckänderung nimmt die Kapazität eines der beiden Meßabschnitte zu, während die Kapa-

zität des anderen Meßabschnitts abnimmt. In der gleichen Umgebung ändern sich in bezug auf andere Fehlerfaktoren die Kapazitäten der beiden Meßabschnitte in gleiche Richtung (Zunahme oder Abnahme), was eine einfache Fehlerkorrektur ermöglicht. Da die Druckeinleitungslöcher 19 in der ersten Membran 4 und die Druckeinleitungslöcher 12 in der dritten Membran 11 in gleichem Abstand in bezug auf die Spalte 5 und 9 angeordnet sind, kann die erforderliche unterschrittene Ätzlänge reduziert werden, so daß die Spalte 5 und 9 zuverlässig ausgebildet werden können. Da die Gesamtfläche der vierten Druckeinleitungslöcher 19 und der dritten Druckeinleitungslöcher 12 klein ist, kann eine Kapazitätsverringerung im Vergleich zu dem Fall minimiert werden, bei dem die Druckeinleitungslöcher 19 und 12 nicht ausgebildet sind. Ferner kann ein sogenanntes Nullpunkt kompensations-Druckmeßverfahren zusätzlich zu dem Verfahren der Umwandlung der durch den Druck bewirkten Versetzung der zweiten Membran 7 in eine Kapazitätsänderung repräsentierendes elektrisches Signal Anwendung finden. Bei dem Nullpunkt kompensations-Druckmeßverfahren werden eine elektrostatische Anziehungskraft F1, die entsprechend einer Potentialdifferenz V1 zwischen der ersten und zweiten Elektrode 3 und 6 erzeugt wird, und eine elektrostatische Anziehungskraft F2, die entsprechend einer Potentialdifferenz V2 zwischen der zweiten und dritten Elektrode 6 und 10 erzeugt wird, so gesteuert, daß die Kapazität des ersten Kondensators und/oder die Kapazität des zweiten Kondensators konstant gehalten wird, und somit ein Druck auf der Basis der Potentialdifferenz V1 und/oder der Potentialdifferenz V2 erhalten wird. Sind die Spalte 5 und 9 sehr klein, so kann dieses Verfahren beim Aufbau der vorliegenden Erfindung Anwendung finden, da die elektrostatischen Anziehungskräfte ausreichend groß sind. Da bei diesem Verfahren keine Membran verformt wird, können verschiedene Fehlerfaktoren, die auf der Steifigkeit jeder Membran beruhen, vernachlässigt werden. Es ist allgemein bekannt, daß das Nullpunkt kompensations (Nullpunktkorrektur)-Druckmeßverfahren eine hochpräzise, hochempfindliche Messung ermöglicht. Es ist zu bemerken, daß das Substrat 1 die gleiche Gestalt, wie jeweils in den Fig. 7A bis 9A gezeigt, aufweisen kann und damit die entsprechenden gleichen Wirkungen aufzeigt. Bei diesem Ausführungsbeispiel steht der erste Hohlraum (Spalt 5) mit der Umgebung Y und der zweite Hohlraum (Spalt 9) mit der Umgebung X in Verbindung. Selbst wenn der erste Hohlraum mit der Umgebung X und der zweite Hohlraum mit der Umgebung Y in Verbindung steht, können die gleichen Wirkungen, wie jene dieses Ausführungsbeispiels erzielt werden.

Die Fig. 11A und 11B zeigen den Aufbau eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel, wobei die gleichen Bezugszeichen in den Fig. 11A und 11B entsprechend gleiche Teile wie in den Fig. 1A und 1B bezeichnen. Der in den Fig. 11A und 11B gezeigte Aufbau unterscheidet sich von dem in den Fig. 1A und 1B gezeigten Aufbau dadurch, daß auf der Oberfläche einer dritten Membran 11 eine leitende Dünnschicht 20 ausgebildet ist. Diese leitende Dünnschicht 20 ist so ausgestaltet, daß diese nicht auf dem ersten, zweiten und dritten Elektrodenanschluß 15, 16 bzw. 17 und ihren Umfangsteilen ausgebildet ist und die dritten Druckeinleitungslöcher 12 nicht verschließt bzw. abdichtet.

Mit Hilfe dieses Aufbaus können die gleichen Wirkungen wie oben beschrieben und zusätzlich ein elek-

trostatischer Abschirmeffekt anhand der leitenden Dünnschicht 20 erzielt werden. Außerdem dient die Schicht 20 als Verstärkungsteil für die dritte Membran 11.

Der in den Fig. 11A und 11B gezeigte Aufbau schließt zusätzlich zu dem in den Fig. 1A und 1B verdeutlichten Aufbau die leitende Dünnschicht 20 ein. Diese leitende Dünnschicht 20 kann bei jedem Aufbau in den Fig. 2A bis 10A vorgesehen werden.

Die Fig. 12A und 12B zeigen den Aufbau eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel, wobei die gleichen Bezugszeichen in den Fig. 12A und 12B entsprechend gleiche Teile in den Fig. 1A und 1B bezeichnen. Der in den Fig. 12A und 12B gezeigte Aufbau unterscheidet sich von dem in den Fig. 1A und 1B gezeigten Aufbau dadurch, daß auf der Oberfläche einer dritten Membran 11 ein Anschlag 21 ausgebildet ist. Bei diesem Aufbau stehen dritte Druckeinleitungslöcher 12 mit einer Umgebung X in Verbindung.

Entsprechend diesem Aufbau wird die Steifigkeit der dritten Membran 11 erhöht, so daß diese als fester Anschlag dient, falls der Druck auf der Seite der Umgebung Y in hohem Maße höher als der Druck auf der Seite der Umgebung X wird.

Der in den Fig. 12A und 12B gezeigte Aufbau schließt zusätzlich zu dem in den Fig. 1A und 1B verdeutlichten Aufbau den Anschlag 21 ein. Der gleiche Anschlag 21 kann bei dem jeweiligen Aufbau in den Fig. 2A bis 5B und dem in den Fig. 11A und 11B gezeigten Aufbau, der dem jeweiligen Aufbau in den Fig. 2A bis 5B entspricht, vorgesehen werden.

Die Fig. 13A und 13B zeigen den Aufbau eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel, wobei die gleichen Bezugszeichen in den Fig. 13A und 13B entsprechend gleiche Teile in den Fig. 1A und 1B verdeutlichen. Der in den Fig. 13A und 13B verdeutlichte Aufbau unterscheidet sich von dem in den Fig. 1A und 1B gezeigten Aufbau dadurch, daß auf einer dritten Membran 11 über einem Spalt 22 als vierten Hohlraum ein Anschlag 21 ausgebildet ist. Bei diesem Aufbau stehen dritte Druckeinleitungslöcher 12 mit einer Umgebung X in Verbindung.

Wird ein Druck auf der Seite der Umgebung Y weit aus höher als ein Druck auf der Seite der Umgebung X, so dient entsprechend diesem Aufbau der Anschlag 21 als eine feste Anschlagsstruktur, während die Steifigkeit der über dem Spalt 9 liegenden dritten Membran 11 kaum geändert wird.

Der in den Fig. 13A und 13B gezeigte Aufbau schließt zusätzlich zu dem in den Fig. 1A und 1B gezeigten Aufbau den Anschlag 21 ein. Dieser Anschlag 21 kann jedoch auch bei dem jeweiligen Aufbau in den Fig. 2A bis 11B vorgesehen werden.

Die Fig. 14 bis 23 verdeutlichen ein Verfahren zum Herstellen des in den Fig. 1A und 1B verdeutlichten Drucksensors. Die Bezugszeichen in den Fig. 14 bis 23 bezeichnen die gleichen Teile wie in den Fig. 1A und 1B. Wie aus Fig. 14 ersichtlich, ist auf der oberen und unteren Fläche z. B. einer als Substrat 1 dienenden Si-Scheibe 31 eine Schicht 32 ausgebildet, die z. B. aus SiNx besteht. Wie in Fig. 15 gezeigt, werden mittels einer bekannten Fotoätztechnik vorbestimmte Masken 32a und 32b ausgebildet. Wie in Fig. 16 verdeutlicht, werden die obere und untere Fläche der Si-Scheibe 31 unter Verwendung dieser Masken 32a und 32b geätzt, um Ätzgräben 33a und 33b mit vorbestimmten Tiefen zu erzeugen. Anschließend wird in den Ätzgräben 33a in



der oberen Fläche der Si-Scheibe 31 ein Opfer- bzw. Füllschichtmaterial eingebettet, um eine erste Füllschicht 34<sub>1</sub> auszubilden, wie dies in Fig. 17 verdeutlicht ist. Wie aus Fig. 18 ersichtlich, wird auf der oberen Fläche der Si-Scheibe 31, in der die Füllschicht 34<sub>1</sub> vorgesehen ist, eine erste Elektrode 3 ausgebildet, und zwar mit Hilfe eines üblichen Dünnschichtprozesses derart, daß eine leitende Schicht zwischen einer ersten und einer zweiten Isolierschicht 35a bzw. 35b eingeschlossen ist. Wie aus Fig. 19 ersichtlich, wird, nachdem ein Füllschichtmaterial auf der zweiten Isolierschicht 3b abgesetzt wurde, der sich ergebende Aufbau mittels einer bekannten Fotoätztechnik geätzt, um eine zweite Füllschicht 34<sub>2</sub> mit vorbestimmter Gestalt zu erzeugen. Wie in Fig. 20 gezeigt, werden eine dritte Isolierschicht 35c, eine zweite Elektrode 6 und eine vierte Isolierschicht 35d nacheinander auf der zweiten Isolierschicht 3b aufgebracht, auf der die zweite Füllschicht 34<sub>2</sub> vorgesehen ist, und zwar durch einen üblichen Dünnschichtprozeß. Durch wiederholtes Durchführen von Schritten, die den vorstehend beschriebenen ähnlich sind, werden eine dritte Füllschicht 34<sub>3</sub>, eine fünfte Isolierschicht 35e, eine dritte Elektrode 10 und eine sechste Isolierschicht 35f nacheinander auf der vierten Isolierschicht 35d aufgebracht. Wie in Fig. 21 verdeutlicht, werden vom obersten Teil des resultierenden Aufbaus Öffnungen 13a, 13b, 13c und 13d ausgebildet, die entsprechend die erste Elektrode 3, die zweite Elektrode 6, die dritte Elektrode 10 und die zweite Füllschicht 34<sub>2</sub> erreichen. Wie aus Fig. 22 ersichtlich, werden anschließend Leiterelemente 14 entsprechend in die Öffnungen 13a, 13b und 13c eingebettet, während auf den Leiterelementen 14 entsprechende Elektrodenanschlüsse 15, 16 und 17 ausgebildet sind, die mit der ersten, zweiten bzw. dritten Elektrode 3, 6 und 10 elektrisch verbunden sind. Wie in Fig. 23 verdeutlicht, werden die Spalte 5 und 9 durch Entfernen der zweiten und dritten Füll- bzw. Opferschicht 34<sub>2</sub> und 34<sub>3</sub> mittels NaBätzen unter Verwendung der Öffnungen 13d ausgebildet. Anschließend wird der in der unteren Fläche der Si-Scheibe 31 vorgesehene Ätzgraben 33b zu einem ersten Druckeinleitungsloch 18 erweitert, das die erste Füllschicht 34<sub>1</sub> erreicht, wobei diese Füllschicht 34<sub>1</sub> über das erste Druckeinleitungsloch 18 zur Ausbildung eines Spalts 2 durch NaBätzen entfernt wird, so daß sich der in den Fig. 1A und 1B gezeigte kapazitive Drucksensor ergibt, bei dem der vertikale Bezugskondensator integriert ist.

Die Fig. 24 bis 31 verdeutlichen ein Verfahren zum Herstellen des in den Fig. 4A und 4B gezeigten kapazitiven Drucksensors. Die Bezugszeichen in den Fig. 24 bis 31 bezeichnen die gleichen Teile wie in den Fig. 4A und 4B. Wie in Fig. 24 gezeigt, ist auf einer Fläche eines Substrats, das z. B. eine Si-Scheibe 31 darstellt, eine SiNx-Schicht 32 mittels CVD-Abscheidung ausgebildet. Wie aus Fig. 25 ersichtlich, wird dann eine vorbestimmte SiNx-Maske 32a mit Hilfe einer bekannten Fotoätztechnik ausgebildet. Eine Fläche der Si-Scheibe 31 wird unter Verwendung der Maske 32a geätzt, wodurch, wie aus Fig. 26 ersichtlich, ein Ätzgraben 33 mit vorbestimmter Tiefe ausgebildet wird. Nach Entfernen der Maske 32a wird ein Füll- bzw. Opferschichtmaterial auf die Si-Scheibe 31 aufgebracht, woraufhin das in dem Ätzgraben 33 abgelagerte Füllschichtmaterial entfernt wird, wodurch eine erste Füllschicht 34<sub>1</sub> erzeugt wird. Wie aus Fig. 28 ersichtlich, wird auf der Oberfläche der Si-Scheibe 31, in der die erste Füllschicht 34<sub>1</sub> eingebettet ist, eine erste Isolierschicht 35<sub>1</sub> mittels eines üblichen Vakuum-

dünnschichtprozesses ausgebildet. Wie in Fig. 29 gezeigt, wird in der ersten Isolierschicht 34<sub>1</sub> eine Öffnung 36 ausgebildet, die mit der ersten Füllschicht 34<sub>1</sub> in Verbindung steht. Nachdem, wie aus Fig. 30 ersichtlich, die erste Füllschicht 34<sub>1</sub> über die Öffnung 36 weggeätzt wurde, wird eine zweite Isolierschicht 35<sub>2</sub> mit Hilfe eines üblichen Vakuumdünnschichtprozesses auf der ersten Isolierschicht 35<sub>1</sub> ausgebildet, wodurch der Spalt bzw. Hohlraum 2 erzeugt wird, wie dies in Fig. 31 verdeutlicht ist. Anschließend wird durch Ausführen der im Zusammenhang mit der Fig. 18 und den folgenden Figuren beschriebenen Schritte ein kompakter, kapazitiver Drucksensor hergestellt, bei dem ein vertikaler Bezugskondensator integriert ist. In diesem Fall wird der in Fig. 23 gezeigte Schritt des Ätzens der Silizium-Scheibe 31 nicht durchgeführt.

Die Fig. 32A und 32B zeigen den Aufbau eines kapazitiven Drucksensors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel, wobei die Bezugszeichen in den Fig. 32A und 32B, die denen der Fig. 1A und 1B entsprechen, gleiche Teile bezeichnen. Der in den Fig. 32A und 32B gezeigte Aufbau unterscheidet sich von dem in den Fig. 1A und 1B gezeigten Aufbau dadurch, daß die in Fig. 1B gezeigten zweiten und dritten Druckeinleitungs-löcher 8 und 12 nicht in der zweiten und dritten Membran 7 und 11 ausgebildet sind, und daß die zweite Membran 7 in einem Hohlraum befestigt bzw. ausgebildet ist, der von den Spalten 5 und 9 gebildet wird. Die gleiche Atmosphäre, wie z. B. ein Vakuum oder ein Edelgas wird in diesem Hohlraum unter Abdichtung gehalten, so daß die Umgebungen X und Y über die erste und dritte Membran 4 und 11 voneinander getrennt sind. In der gleichen Umgebung sind zwei Meßabschnitte ausgebildet, die einen ersten bzw. zweiten Kondensator aufweisen. Der erste Kondensator besteht aus einer ersten Elektrode 3 und einer zweiten Elektrode 6. Der zweite Kondensator besteht aus der zweiten Elektrode 6 und einer dritten Elektrode 10.

Bei diesem Aufbau werden die erste und dritte Membran 4 und 11 als unteres und oberes Teil infolge der zwischen den Umgebungen X und Y vorliegenden Druckdifferenz versetzt, während die zweite Membran 7 als mittleres Teil fixiert ist. Demzufolge ändert sich sowohl die Kapazität zwischen der zweiten und dritten Membran 7 und 11 als auch die Kapazität zwischen der ersten und zweiten Membran 4 und 7. Durch Erfassen dieser Kapazitäten kann die Druckdifferenz zwischen den Umgebungen X und Y ermittelt werden.

Entsprechend diesem Aufbau wird die gleiche Atmosphäre, wie z. B. ein Vakuum oder ein Edelgas zwischen der zweiten und dritten Membran 7 und 11 und zwischen der ersten und zweiten Membran 4 und 7 hermetisch abgeschlossen, so daß die Umgebungen X und Y voneinander getrennt sind. Selbst wenn sich die Atmosphäre, wie z. B. die relative Feuchtigkeit in den Umgebungen X und Y ändert, werden die Kapazitäten zwischen der zweiten und dritten Membran 7 und 11 sowie die Kapazität zwischen der ersten und zweiten Membran 4 und 7 überhaupt nicht beeinflusst. D. h. durch Änderungen der Umgebung, wie z. B. durch Feuchtigkeitsänderungen werden keine Fehler hervorgerufen.

Die Fig. 33 bis 39 verdeutlichen ein Verfahren zur Herstellung des in den Fig. 32A und 32B gezeigten kapazitiven Drucksensors. Die Bezugszeichen in den Fig. 33 bis 39, die denen der Fig. 32A und 32B entsprechen, kennzeichnen gleiche Teile. Zur Herstellung des in Fig. 33 gezeigten Aufbaus werden die gleichen Schritte durchgeführt, die in den Fig. 14 bis 17 des früheren Aus-



führungsbeispiels dargestellt sind. Nachfolgend wird, wie aus Fig. 34 ersichtlich, ein Füll- bzw. Opferschichtmaterial auf die zweite Isolierschicht 35b aufgetragen und der resultierende Aufbau mittels einer bekannten Fotoätztechnik geätzt, um eine zweite Füllschicht 34<sub>2</sub> auszubilden, die geringfügig größer als die in dem Ätzgraben 33a vorgesehene erste Füllschicht 34<sub>1</sub> ist. Wie aus Fig. 35 ersichtlich, werden nacheinander eine dritte Isolierschicht 35c, eine zweite Elektrode 6 und eine vierte Isolierschicht 35d auf die zweite Isolierschicht 35b aufgebracht, auf der die zweite Füllschicht 34<sub>2</sub> ausgebildet ist. Nachdem eine dritte Füllschicht 34<sub>3</sub>, die fast die gleiche Größe wie die zweite Füllschicht 34<sub>2</sub> hat, auf der vierten Isolierschicht 35d ausgebildet ist, werden Schritte wiederholt durchgeführt, die ähnlich den oben beschriebenen sind, um auf die vierte Isolierschicht 35d nacheinander eine fünfte Isolierschicht 35e, eine dritte Elektrode 10 und eine sechste Isolierschicht 35f aufzubringen. Wie in Fig. 36 gezeigt, erstrecken sich Öffnungen 13a, 13b, 13c und 13d vom obersten Teil des resultierenden Aufbaus entsprechend bis zur ersten Elektrode 3, zur zweiten Elektrode 6, zur dritten Elektrode 10 und zur zweiten Füllschicht 34<sub>2</sub>. Anschließend werden Leiterelemente 14 entsprechend in die Öffnungen 13a, 13b und 13c eingebettet, wie dies in Fig. 37 verdeutlicht ist. Auf diesen Leiterelementen 14 sind entsprechende Elektrodenanschlüsse 15, 16 und 17 ausgebildet, die mit der ersten, zweiten bzw. dritten Elektrode 3, 6 bzw. 10 elektrisch verbunden sind. Wie aus Fig. 38 ersichtlich, werden die zweite und dritte Füllschicht 34<sub>2</sub> und 34<sub>3</sub> mittels Naßätzen durch die Öffnung 13d entfernt, um die Spalte 5 und 9 auszubilden. Anschließend wird der Ätzgraben 33b in der unteren Fläche der Si-Scheibe 31 mittels Naßätzung geätzt, um das erste Druckeinleitungsloch 18 auszubilden, das die erste Füllschicht 34<sub>1</sub> erreicht. Außerdem wird diese erste Füllschicht 34<sub>1</sub> unter Verwendung des ersten Druckeinleitungsloches 18 zur Ausbildung des Spaltes 2 entfernt. Anschließend wird ein Trocknungsprozeß durchgeführt und die Öffnung 13d mit einem Isolierelement 36 abgedichtet, während in dem durch die Spalte 5 und 9 gebildeten Hohlraum ein Vakuum oder ein Edelgas gehalten wird. Auf diese Weise wird der in Fig. 32 gezeigte kompakte kapazitive Drucksensor erhalten, bei dem der vertikale Bezugskondensator integriert ist.

Bei dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist die obere Fläche des Si-Substrats (Scheibe) 31 zur Erzielung einer flachen Substratfläche mit einem U-förmigen Querschnitt aufweisenden Ätzgraben 33a versehen, der mit der Füllschicht 34<sub>1</sub> ausgefüllt ist. Als Si-Scheibe 31 kann jedoch z. B. eine Si-Scheibe vom n-Typ verwendet und p-Fremdatome selektiv in die Scheibe mit hoher Konzentration eindiffundiert werden, um eine eindiffundierte Schicht zu erhalten, die als vergrabene Schicht verwendet werden kann. In diesem Fall wird die vergrabene Schicht wie folgt entfernt. Zuerst wird in der Si-Scheibe 31 vom n-Typ eine Öffnung ausgebildet, die sich von ihrer unteren Fläche zur vergrabenen Schicht erstreckt. Die vergrabene Schicht wird dann selektiv geätzt bzw. entfernt, und zwar unter Verwendung einer Ätzlösung, die aus Fluorwasserstoffsäure, Salpetersäure und Essigsäure im Verhältnis 1:3:8 besteht, um somit den Spalt 2 herzustellen. Mit Hilfe dieses Verfahrens kann der gleiche Aufbau wie oben beschrieben erzeugt werden.

Bei den oben beschriebenen Ausführungsbeispielen weist jede bewegliche Membran eine rechteckige Gestalt auf. Alternativ kann jedoch auch eine runde oder

polygonale Gestalt gewählt werden.

Ferner wird bei jedem der vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele ein Durchgangsloch oder eine Vertiefung im Substrat ausgebildet. Es ist jedoch verständlich, daß die gleichen Wirkungen auch durch einen Aufbau erzielt werden können, bei dem sowohl ein Durchgangsloch als auch eine Vertiefung in dem Substrat ausgebildet werden.

Wie vorstehend beschrieben, werden gemäß der Erfindung drei Membrane auf dem Substrat als Stapel aufgebracht und ein vertikaler Bezugskondensator integriert, wodurch ein hochpräziser, kompakter, kostengünstiger, kapazitiver Drucksensor realisiert wird, bei dem die Abhängigkeit der Basiskapazität gegenüber umgebungsbedingten Fehlerfaktoren, wie z. B. der Feuchtigkeit, gering ist.

#### Patentansprüche

##### 1. Kapazitiver Drucksensor, gekennzeichnet durch

- ein Substrat (1), das zumindest ein Durchgangsloch (18) oder eine Vertiefung (2) aufweist, das bzw. die in einer Fläche des Substrats (1) ausgebildet ist,
- eine erste Dünnschichtmembran (4), die auf der einen Fläche des Substrats (1) ausgebildet ist und eine Elektrode (3) aufweist,
- eine zweite Dünnschichtmembran (7), die über ein erstes hohles Teil (5) auf der ersten Dünnschichtmembran (4) ausgebildet ist und ein erstes Druckeinleitungsteil (8) sowie eine zweite Elektrode (6) aufweist, und
- eine dritte Dünnschichtmembran (11), die über ein zweites hohles Teil (9) auf der zweiten Dünnschichtmembran (7) ausgebildet ist und ein zweites mit dem ersten Druckeinleitungsteil (8) in Verbindung stehendes Druckeinleitungsteil (12) sowie eine dritte Elektrode (10) aufweist,
- wobei ein erster Kondensator zwischen der ersten und zweiten Elektrode (3, 6) und ein zweiter Kondensator zwischen der zweiten und dritten Elektrode (6, 10) ausgebildet ist.

##### 2. Kapazitiver Drucksensor, gekennzeichnet durch

- ein Substrat (1), das ein Durchgangsloch (18) oder eine Vertiefung (2) aufweist, das bzw. die in einer Fläche des Substrats (1) ausgebildet ist,
- eine erste Dünnschichtmembran (4), die auf der einen Fläche des Substrats (1) ausgebildet ist und ein erstes mit dem Durchgangsloch (18) in Verbindung stehendes Druckeinleitungsteil (19) sowie eine erste Elektrode (3) aufweist,
- eine zweite Dünnschichtmembran (7), die über ein erstes hohles Teil (5) auf der ersten Dünnschichtmembran (4) ausgebildet ist und ein zweites Druckeinleitungsteil (8), das mit dem ersten Druckeinleitungsteil (19) in Verbindung steht, sowie eine zweite Elektrode (6) aufweist, und
- eine dritte Dünnschichtmembran (11), die über ein zweites hohles Teil (9) auf der zweiten Dünnschichtmembran (7) ausgebildet ist und eine dritte Elektrode (10) aufweist,
- wobei ein erster Kondensator zwischen der ersten und zweiten Elektrode (3, 6) und ein zweiter Kondensator zwischen der zweiten

- und dritten Elektrode (6, 10) ausgebildet ist.
3. Kapazitiver Drucksensor, gekennzeichnet durch
- ein Substrat (1), das ein Durchgangsloch (18), aufweist, das mit einem ersten Außenteil oder einer Vertiefung in Verbindung steht, 5
  - eine erste Dünnschichtmembran (4), die auf einer Seite des Substrats (1) ausgebildet ist und ein erstes Druckeinleitungsteil (19), das mit dem Durchgangsloch (18) in Verbindung steht, sowie eine erste Elektrode (3) aufweist, 10
  - eine zweite Dünnschichtmembran (7), die über ein erstes hohles Teil (5) auf der ersten Dünnschichtmembran (4) ausgebildet ist und ein zweites Druckeinleitungsteil (8), das mit dem ersten Druckeinleitungsteil (19) in Verbindung steht, sowie eine zweite Elektrode (6) aufweist, 15
  - eine dritte Dünnschichtmembran (11), die über ein zweites hohles Teil (9) auf der zweiten Dünnschichtmembran (7) ausgebildet ist und ein drittes Druckeinleitungsteil (12), das mit einem zweiten Außenteil in Verbindung steht, sowie eine dritte Elektrode (10) aufweist, 20
  - wobei ein erster Kondensator zwischen der ersten und zweiten Elektrode (3, 6) und ein zweiter Kondensator zwischen der zweiten und dritten Elektrode (6, 10) ausgebildet ist. 25
4. Kapazitiver Drucksensor, gekennzeichnet durch
- ein Substrat (1), das zumindest ein Durchgangsloch (18) oder eine Vertiefung (2) aufweist, das bzw. die in einer Fläche des Substrats (1) ausgebildet ist, 30
  - eine erste Dünnschichtmembran (4), die auf der einen Fläche des Substrats (1) ausgebildet ist und eine erste Elektrode (3) aufweist, 35
  - eine zweite Dünnschichtmembran (7), die über ein erstes hohles Teil (5) auf der ersten Dünnschichtmembran (7) ausgebildet ist und ein Druckeinleitungsteil (8) sowie eine zweite Elektrode (6) aufweist, und 40
  - eine dritte Dünnschichtmembran (11), die über ein zweites hohles Teil (9) auf der zweiten Dünnschichtmembran (7) ausgebildet ist und eine dritte Elektrode (10) aufweist, 45
  - wobei ein erster Kondensator zwischen der ersten und zweiten Elektrode (3, 6) und ein zweiter Kondensator zwischen der zweiten und dritten Elektrode (6, 10) ausgebildet ist.

Hierzu 22 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

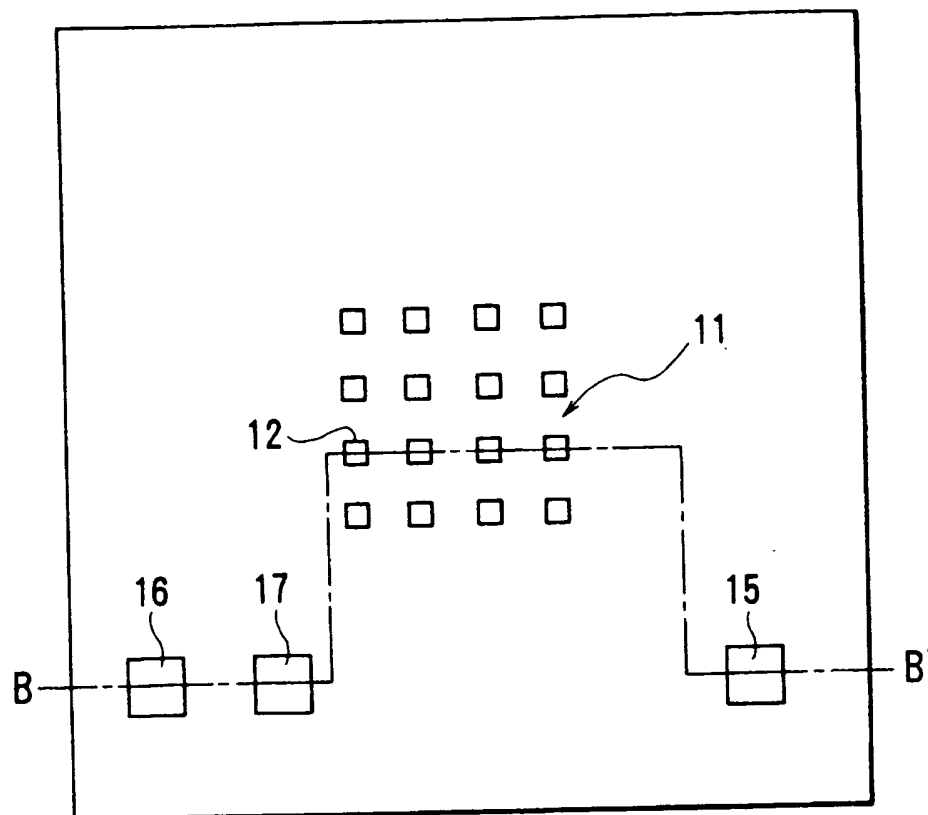


FIG. 1A

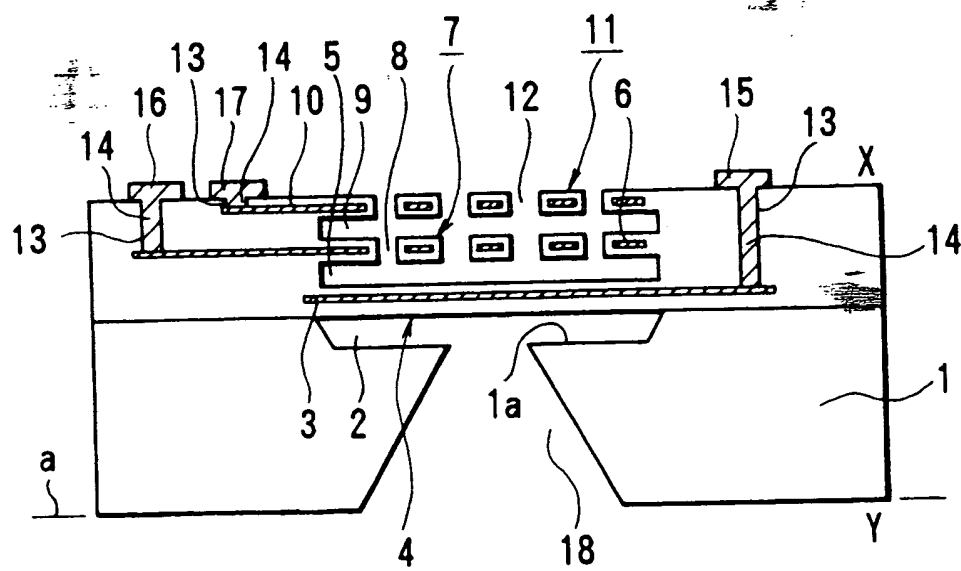


FIG. 1B

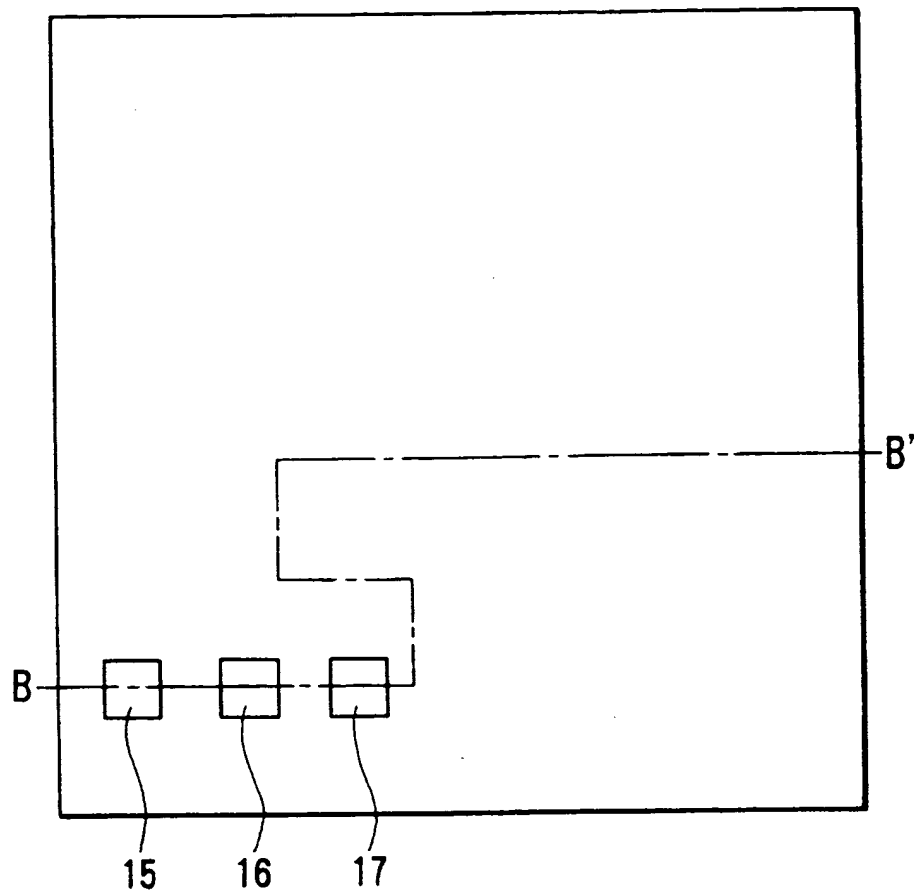


FIG. 2A

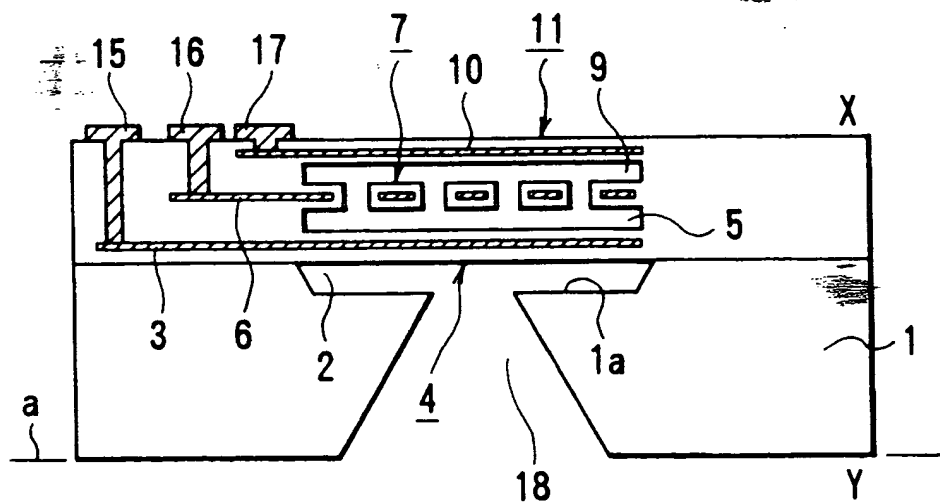


FIG. 2B

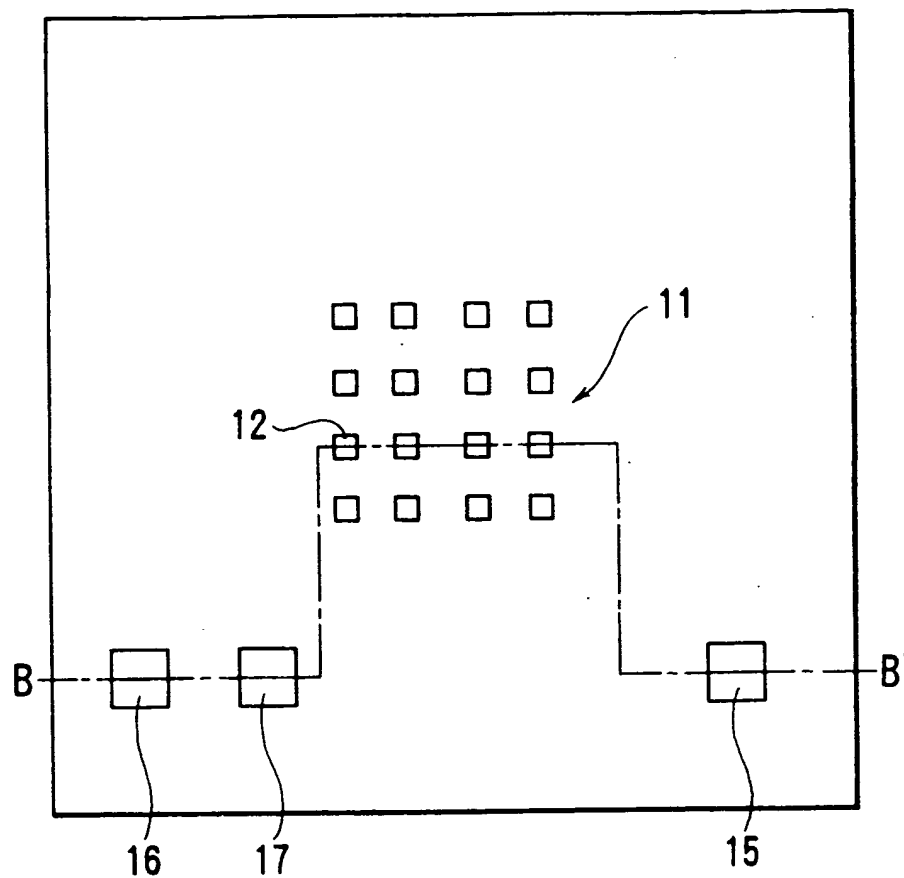
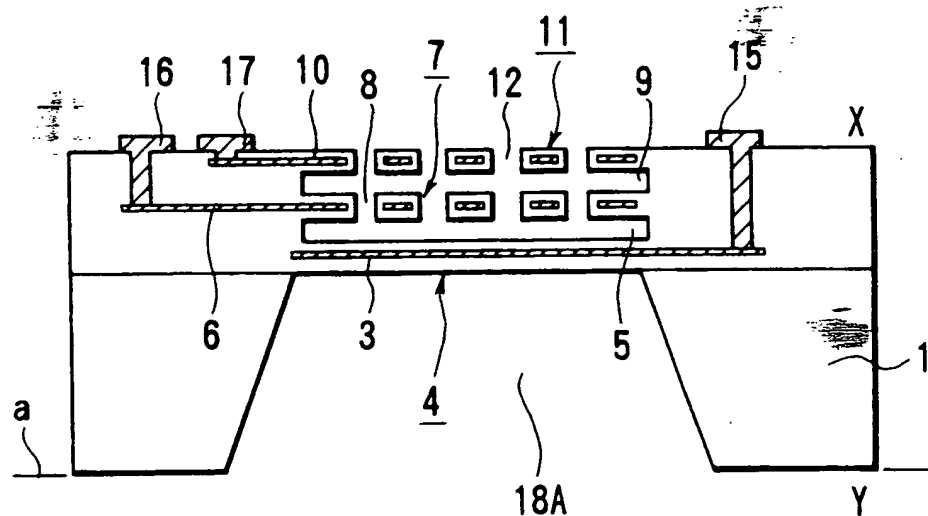


FIG. 3A



**FIG.3B**

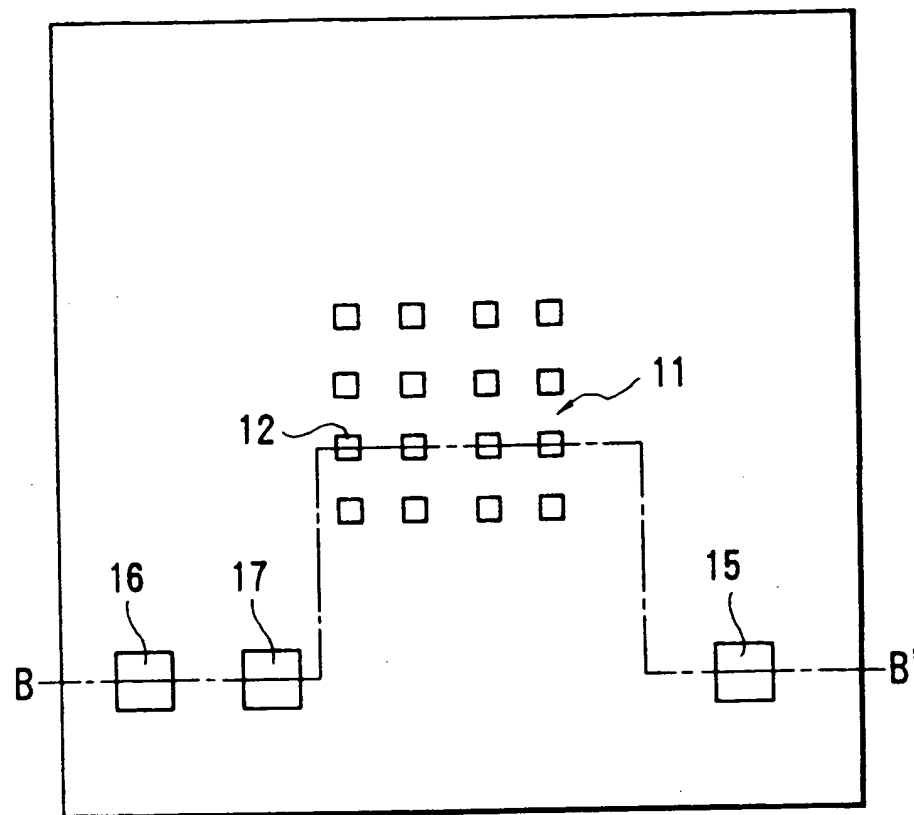
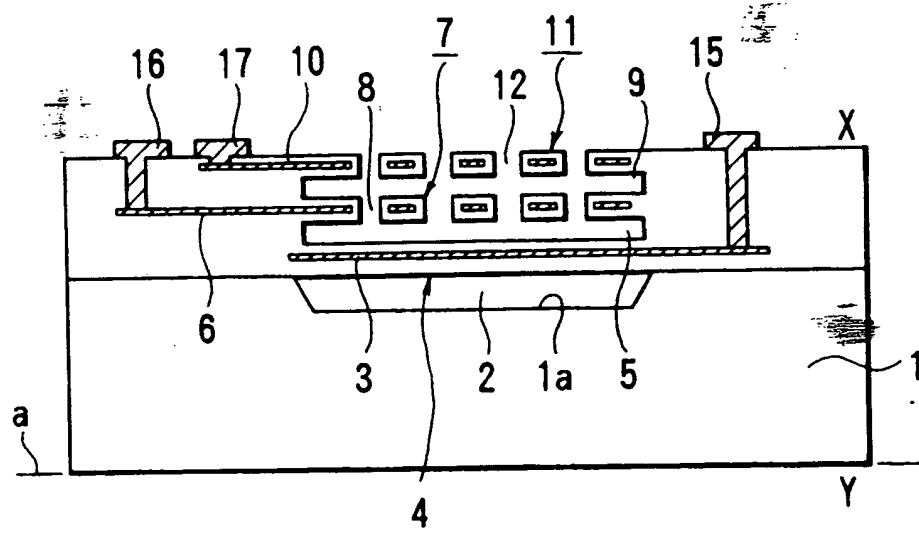


FIG. 4A



**FIG. 4B**



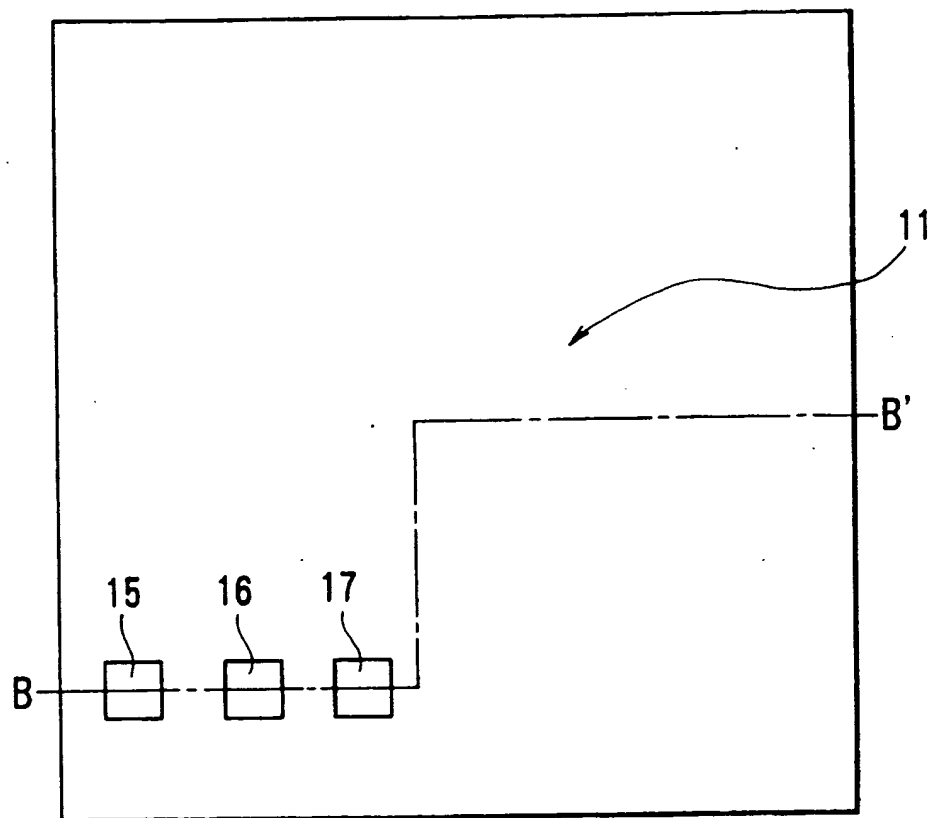
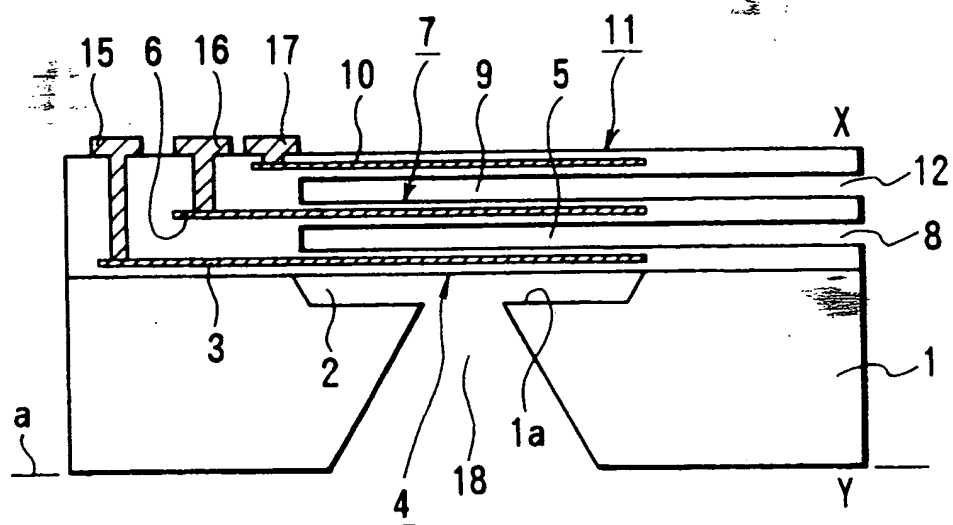


FIG. 5A



**FIG. 5B**

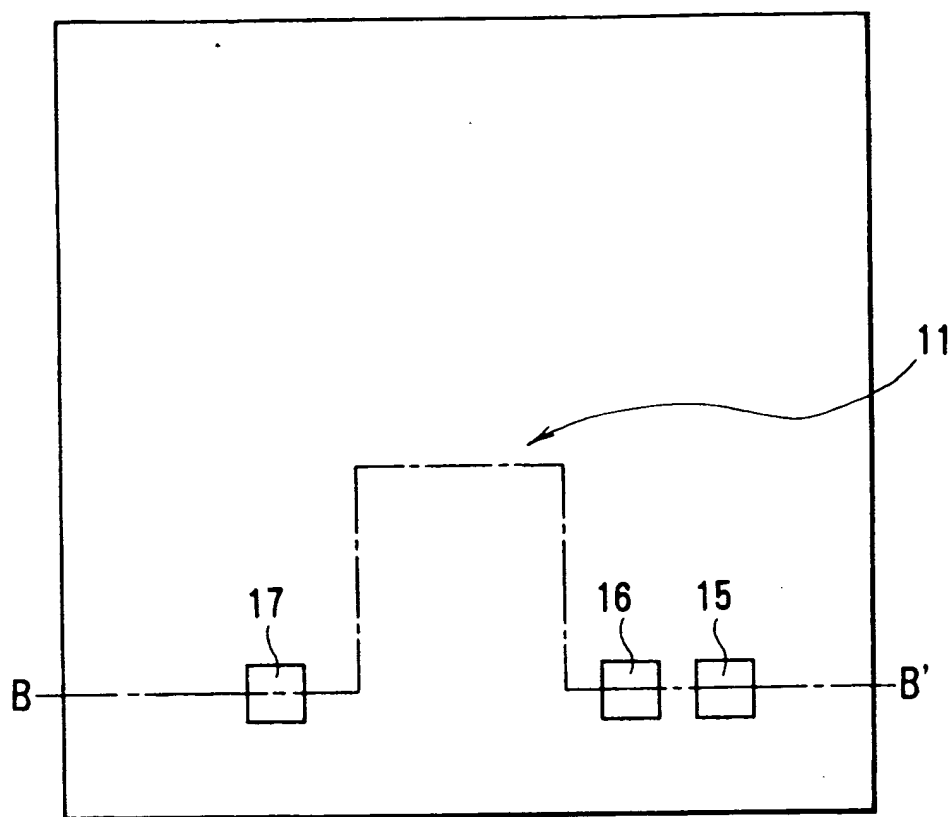


FIG. 6A

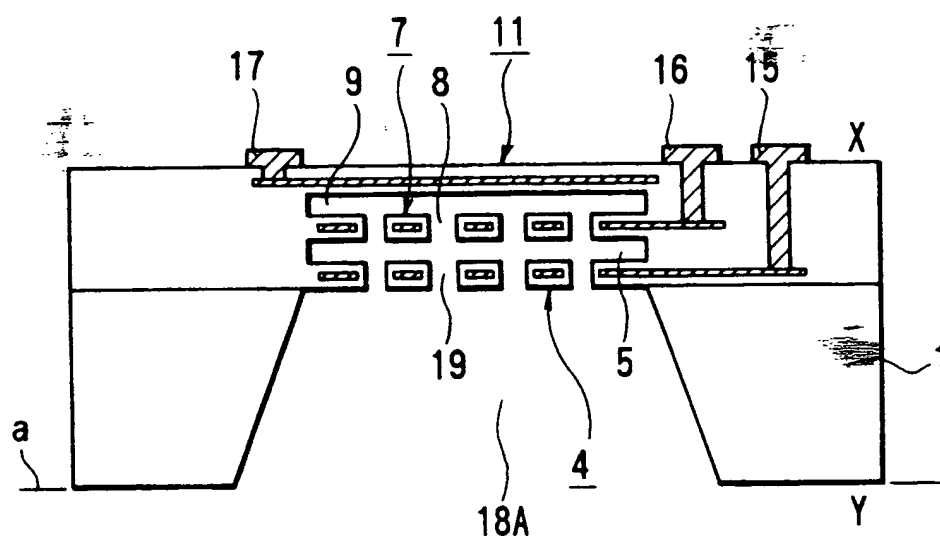


FIG. 6B

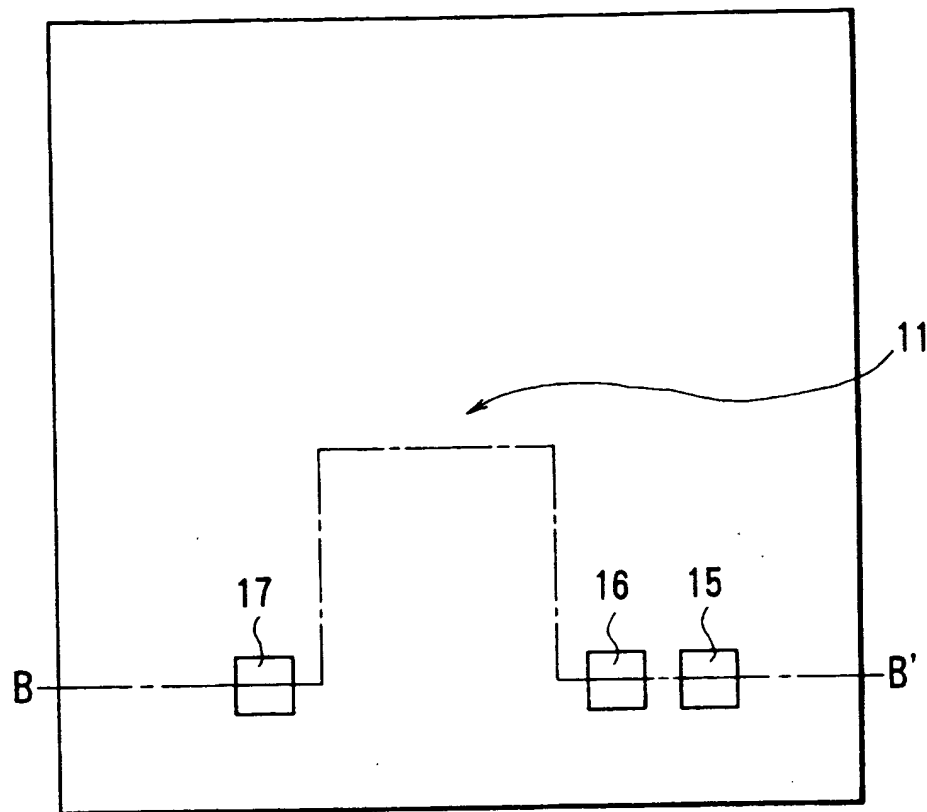


FIG. 7A

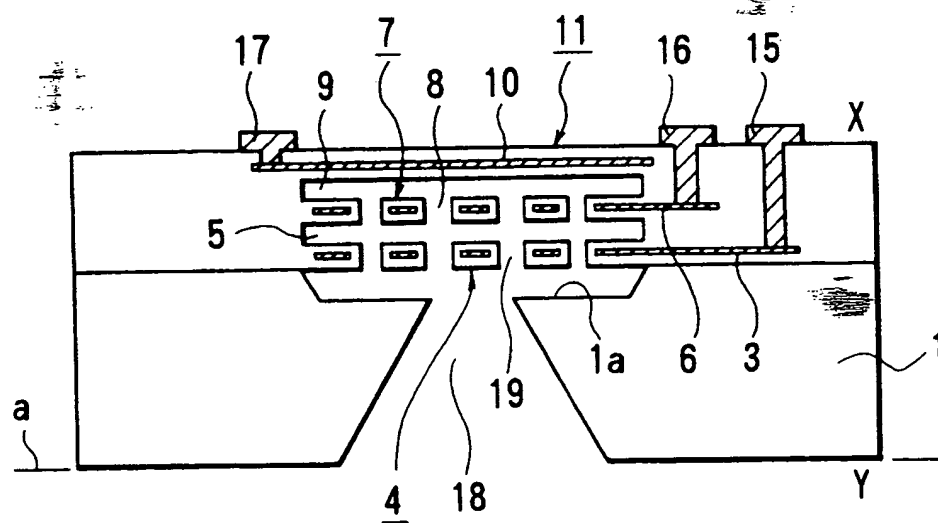


FIG. 7B

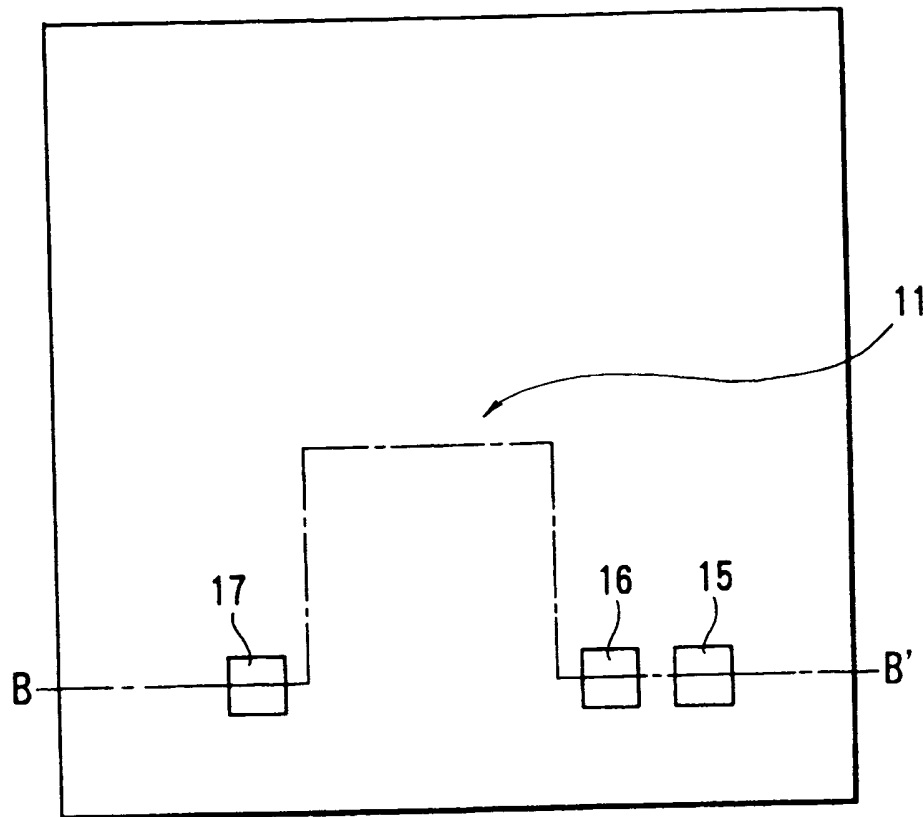
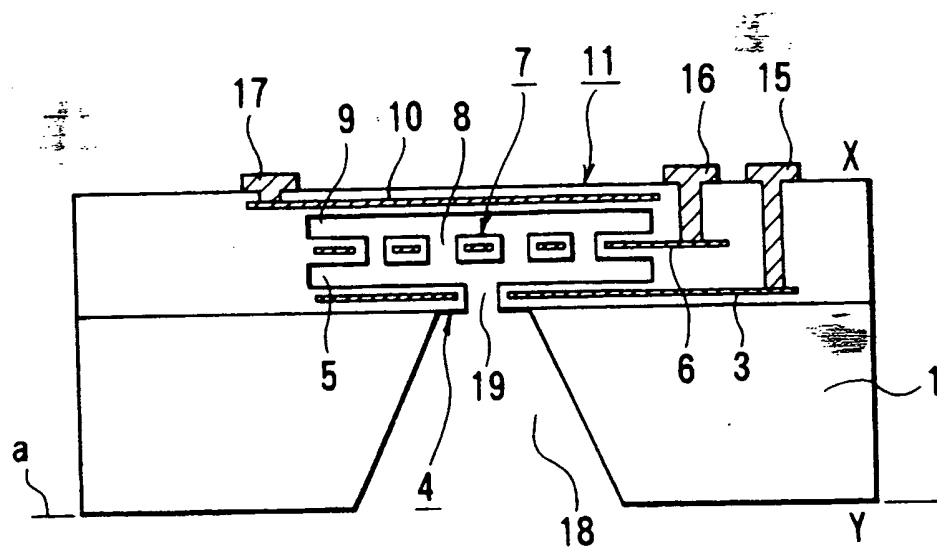


FIG. 8A



**FIG. 8B**

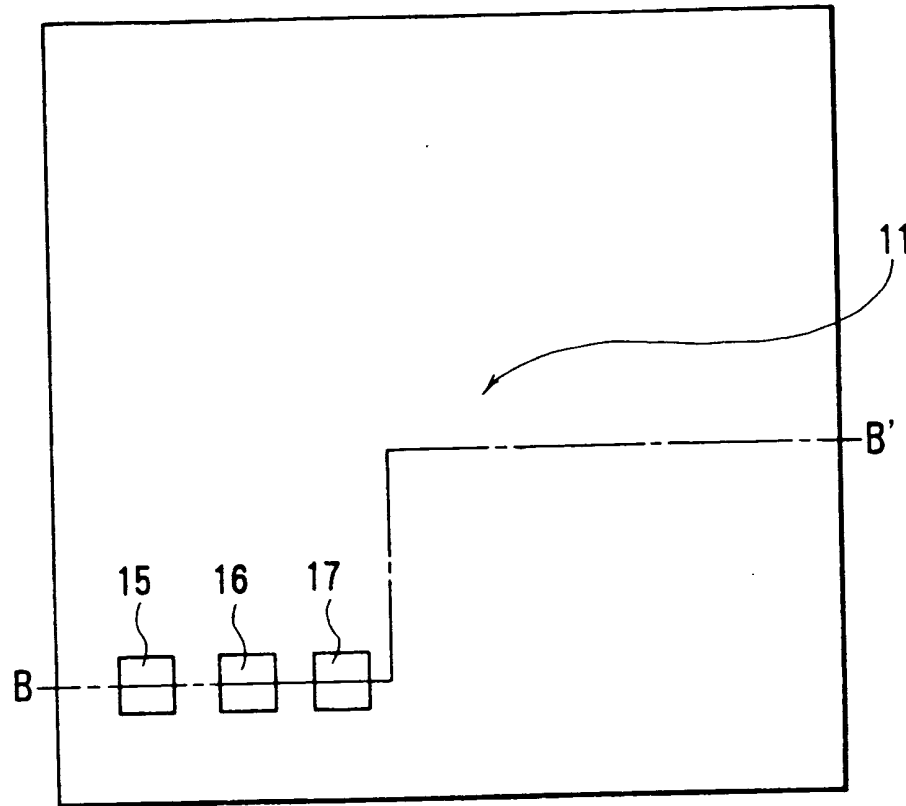


FIG. 9A

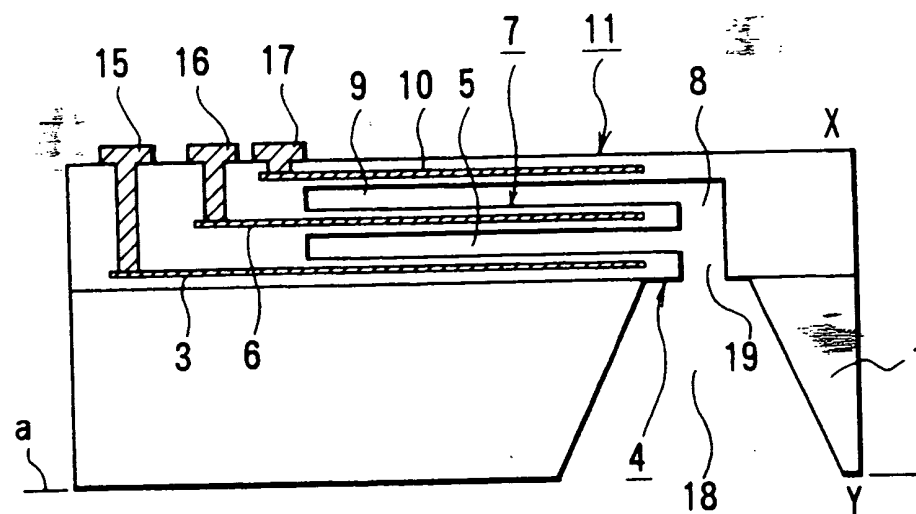


FIG. 9B

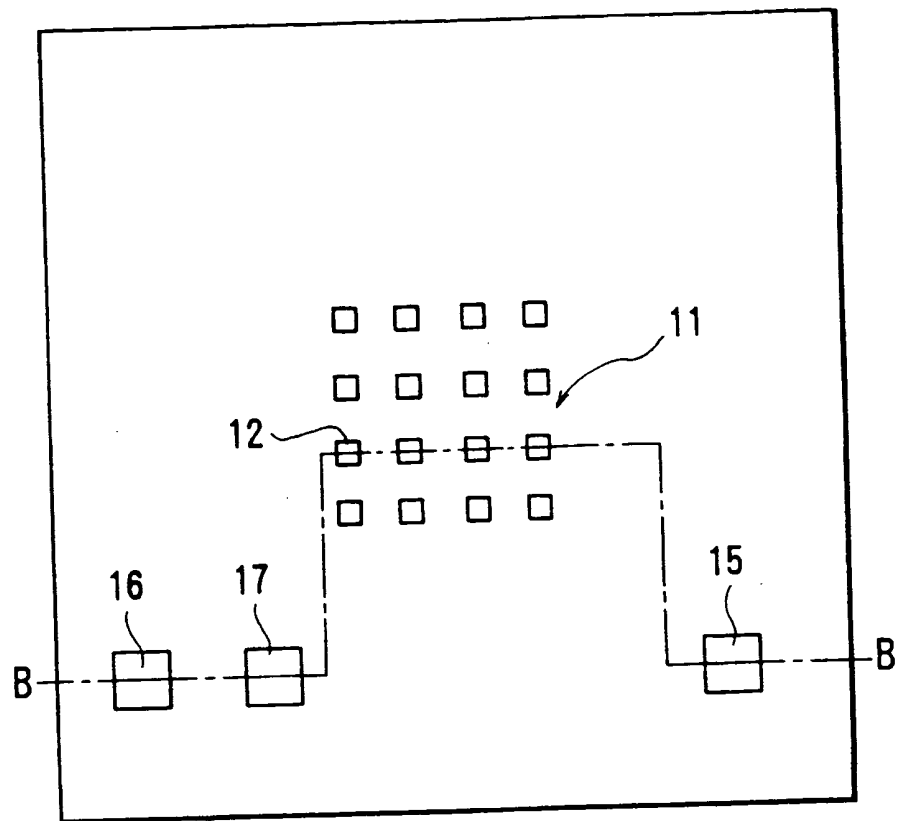


FIG. 10A

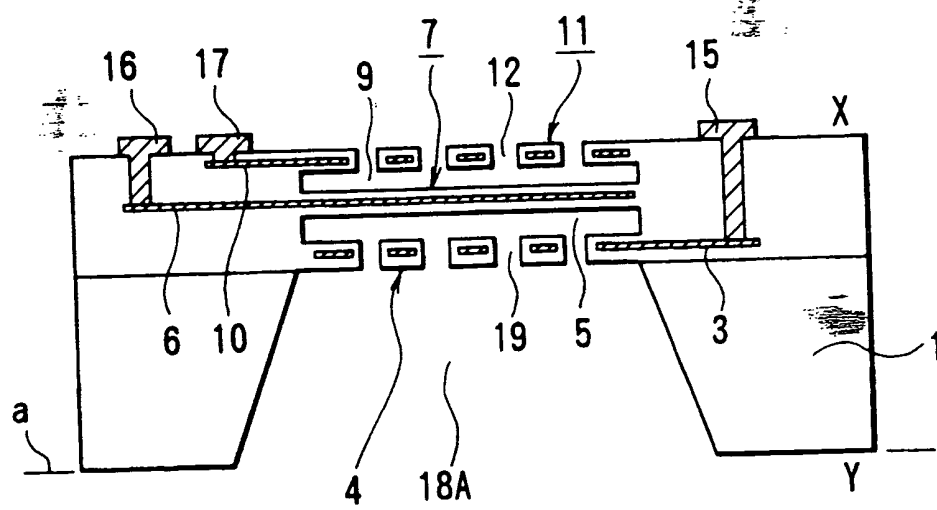


FIG. 10B



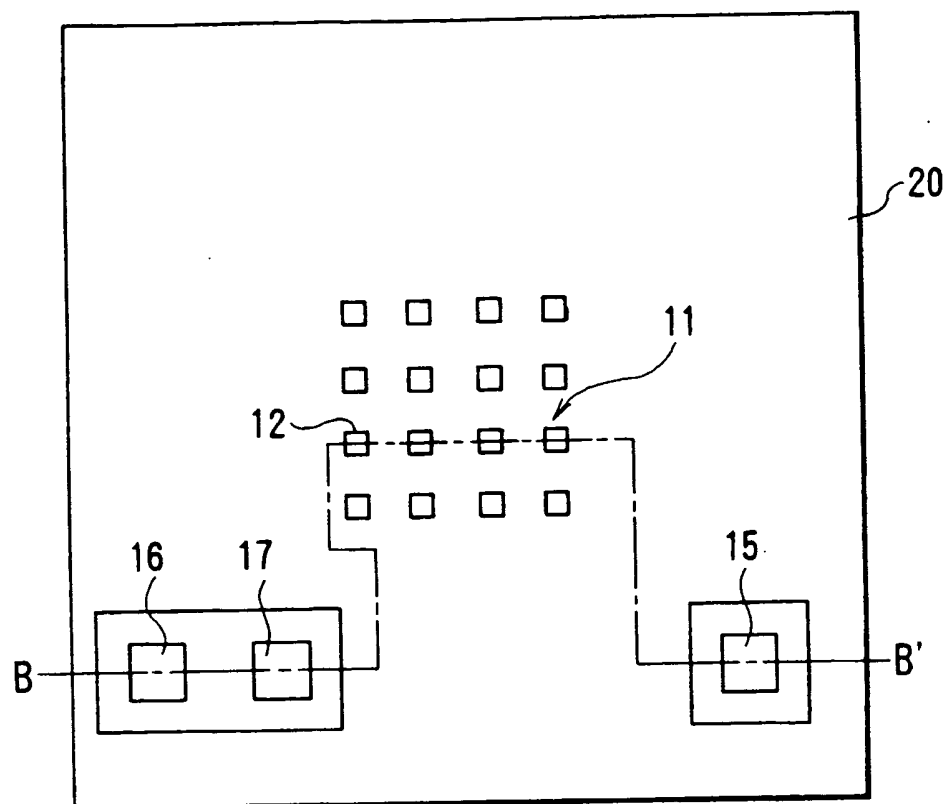


FIG. 11A

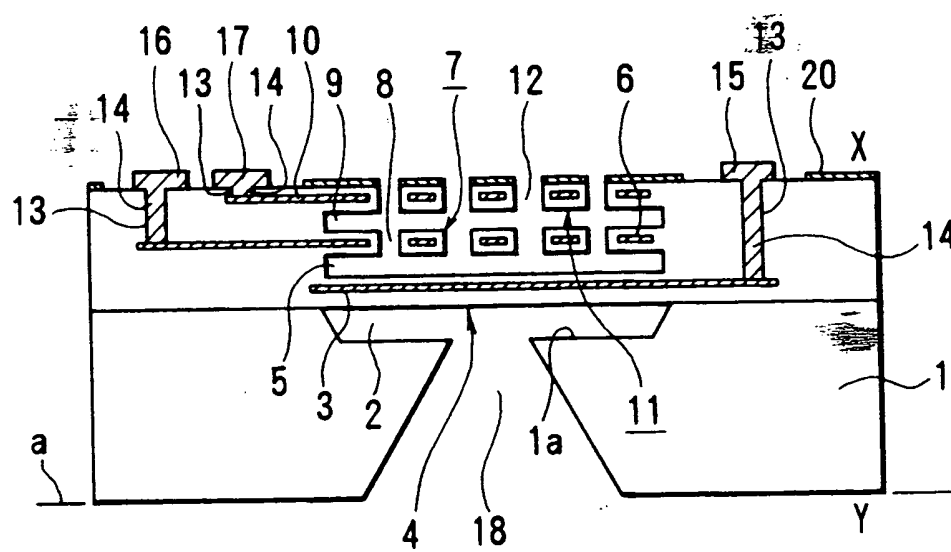


FIG. 11B

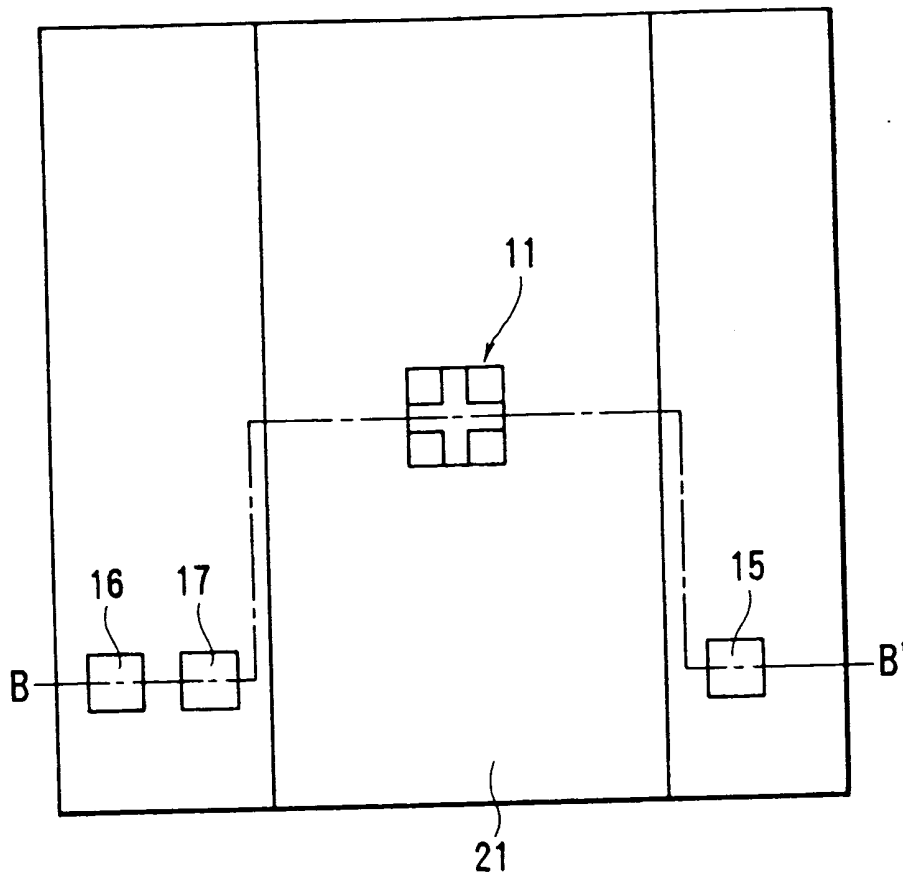


FIG. 12A

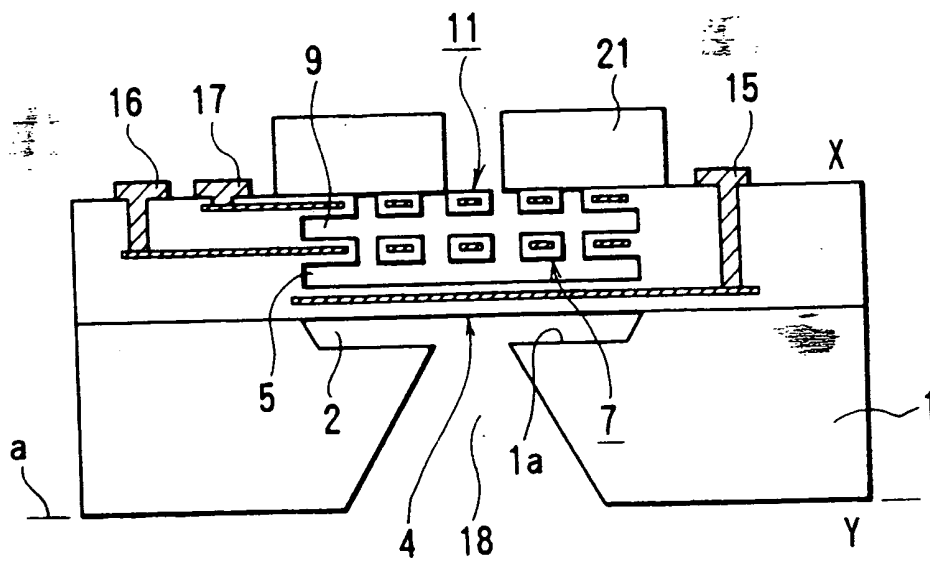


FIG. 12B



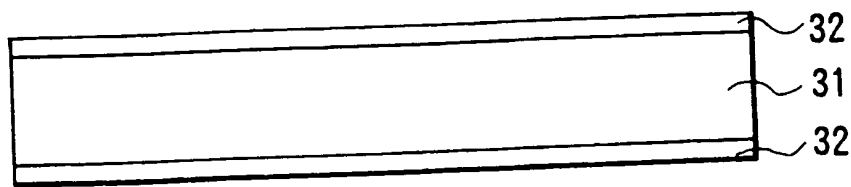


FIG. 14

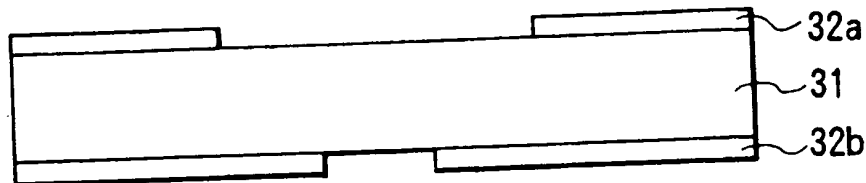


FIG. 15

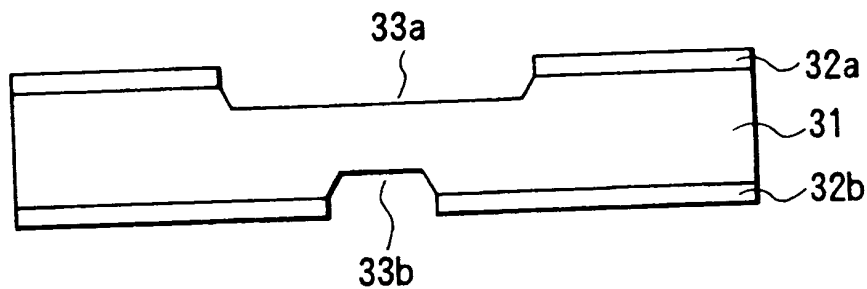


FIG. 16

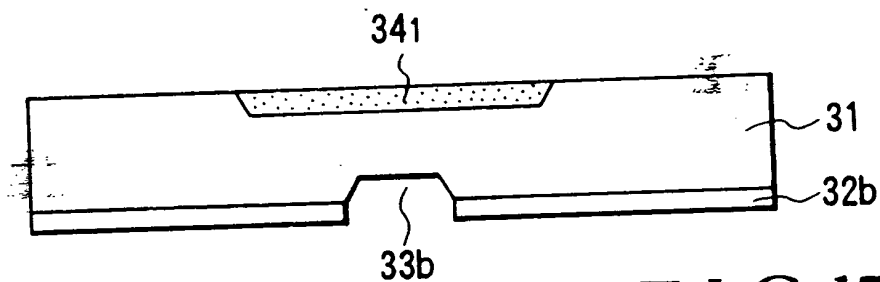


FIG. 17

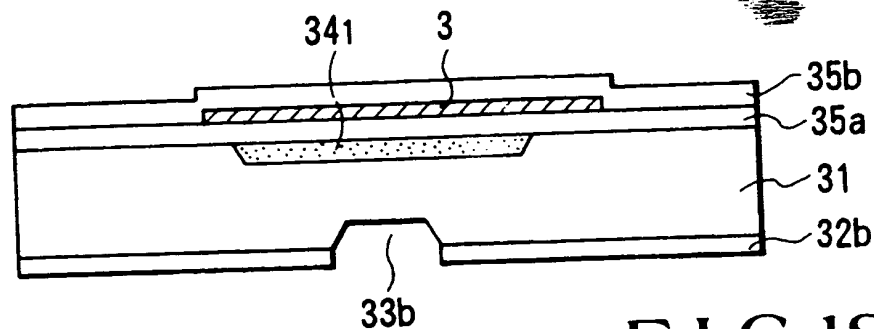


FIG. 18

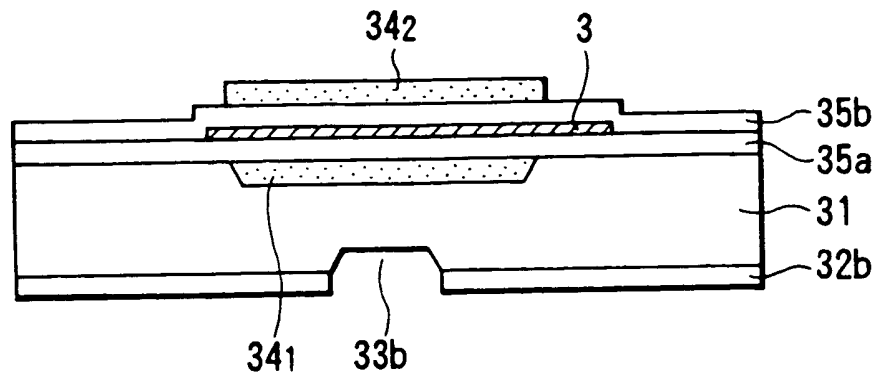


FIG. 19

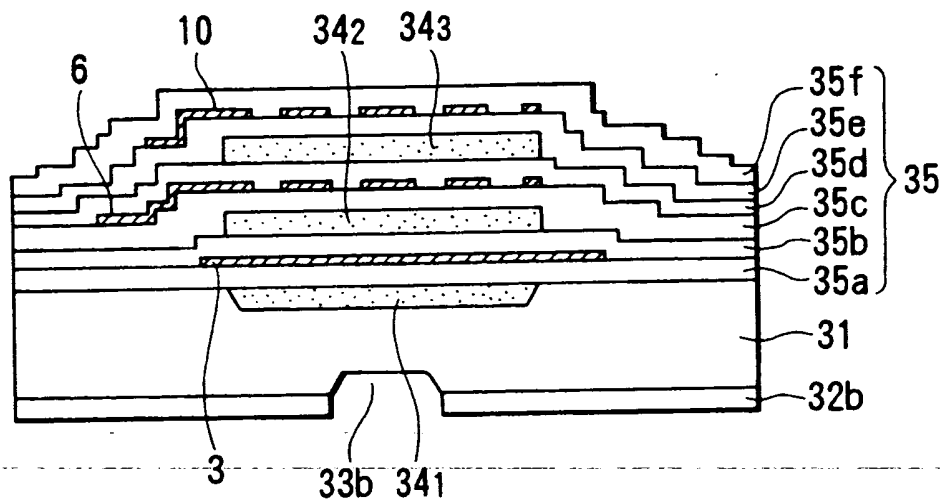


FIG. 20

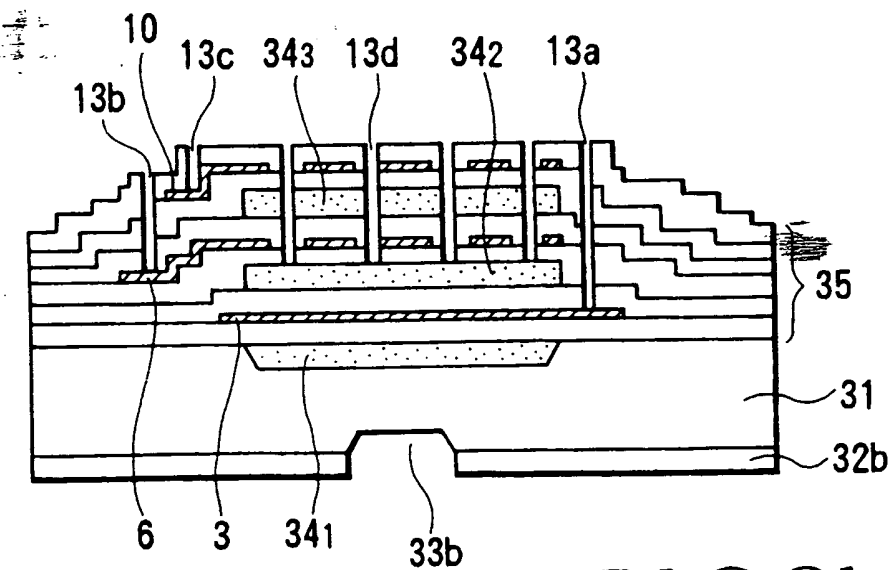
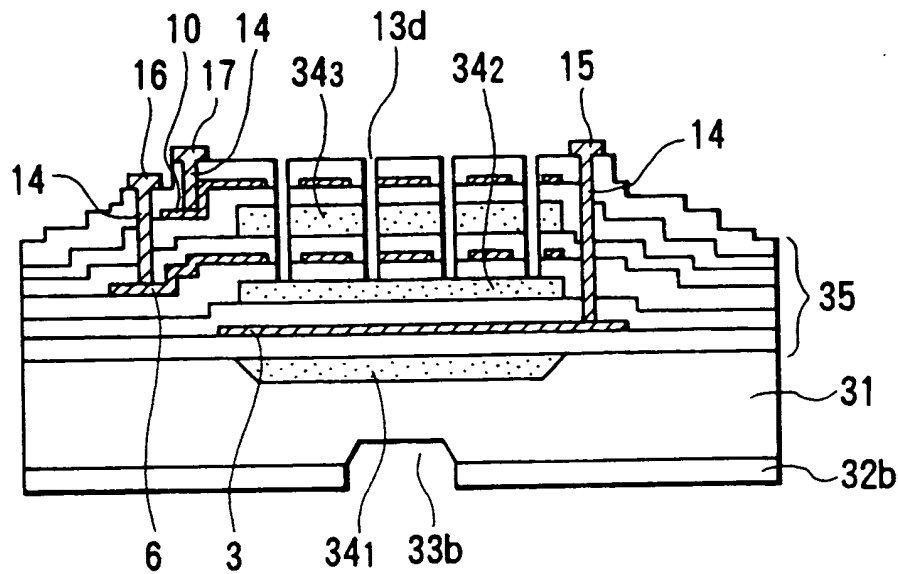
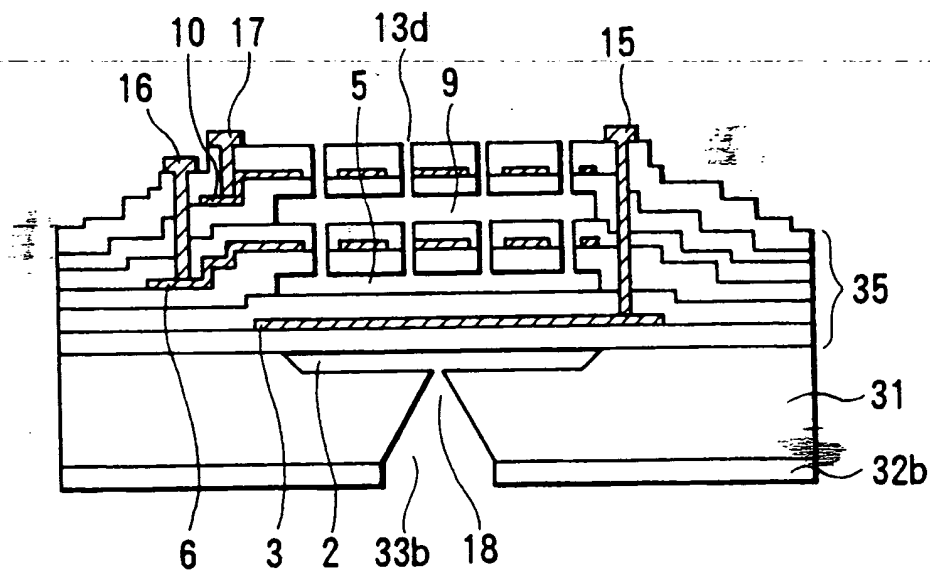


FIG. 21



**FIG. 22**



**FIG. 23**



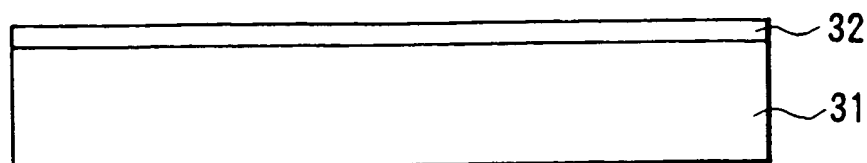


FIG. 24

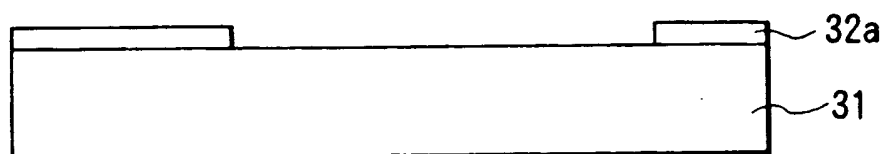


FIG. 25

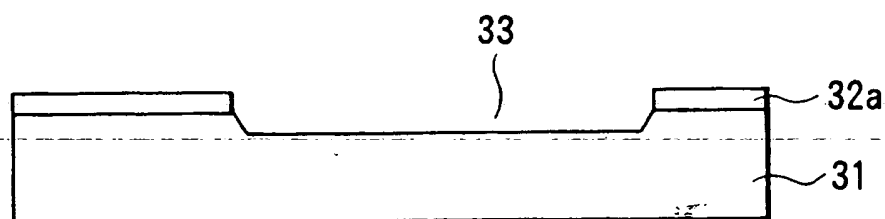


FIG. 26

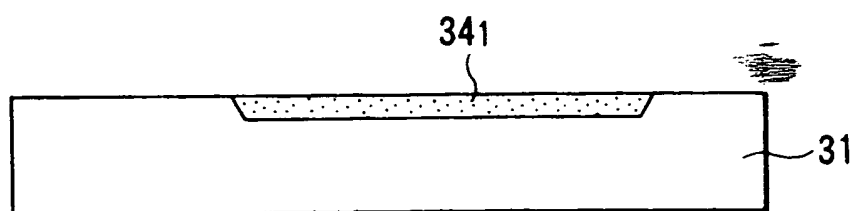


FIG. 27

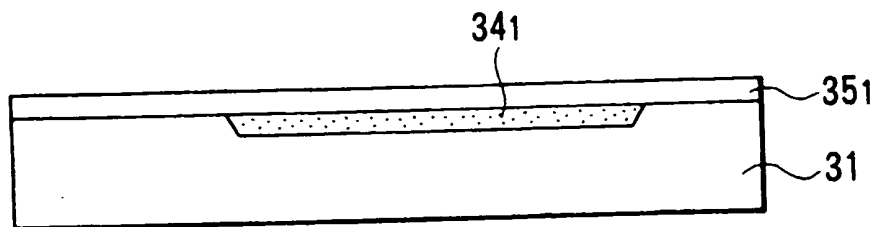


FIG. 28

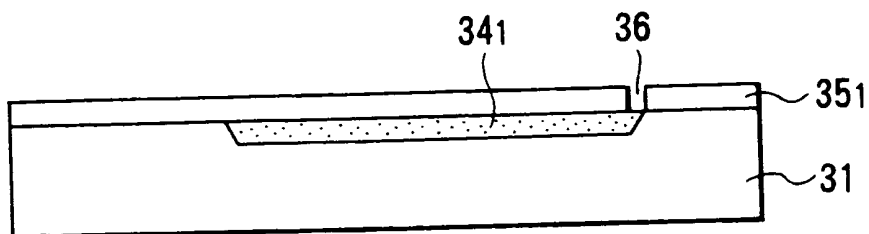


FIG. 29

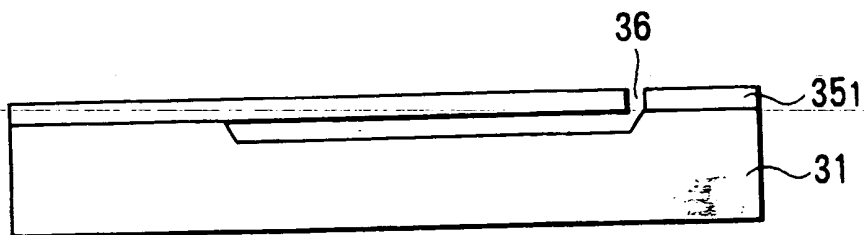


FIG. 30



FIG. 31

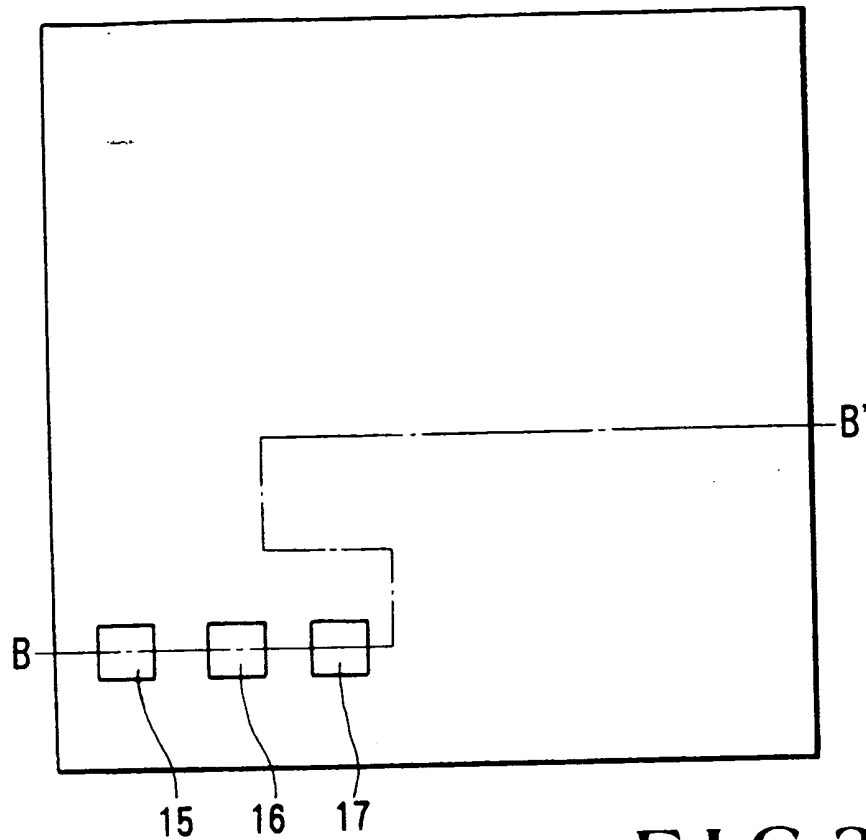


FIG. 32A

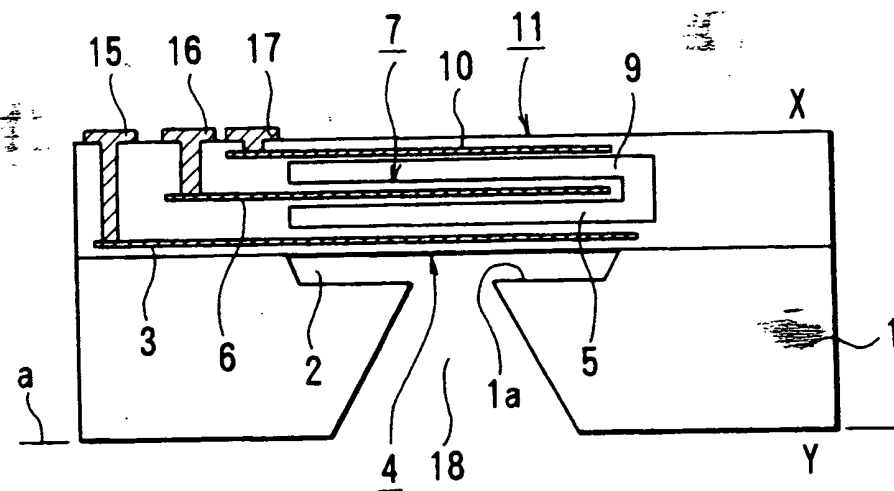


FIG. 32B

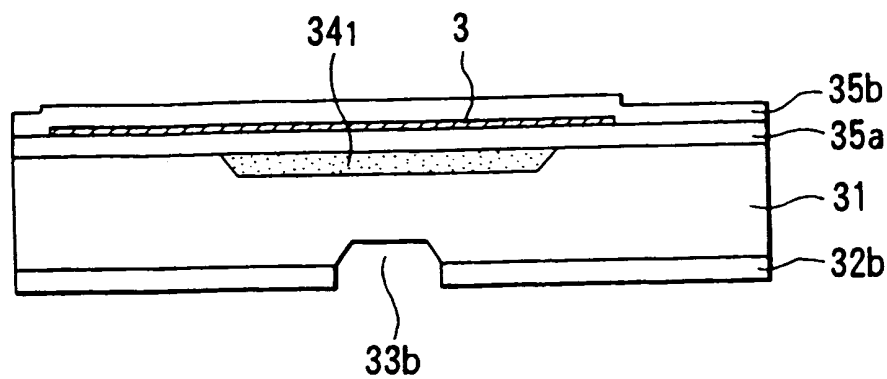


FIG. 33

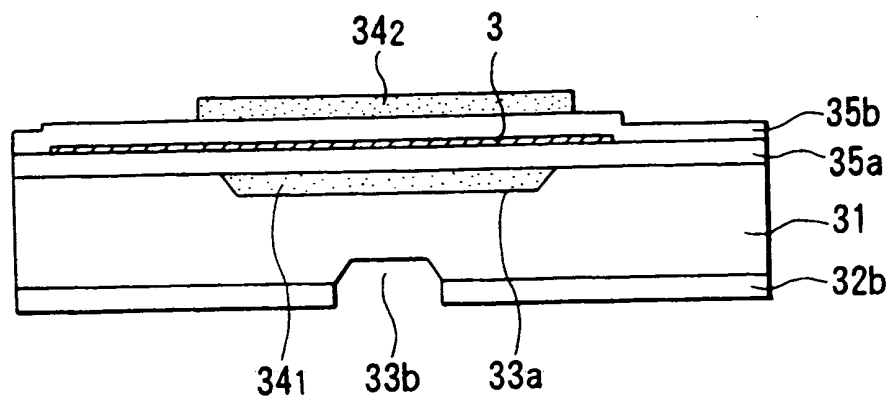


FIG. 34

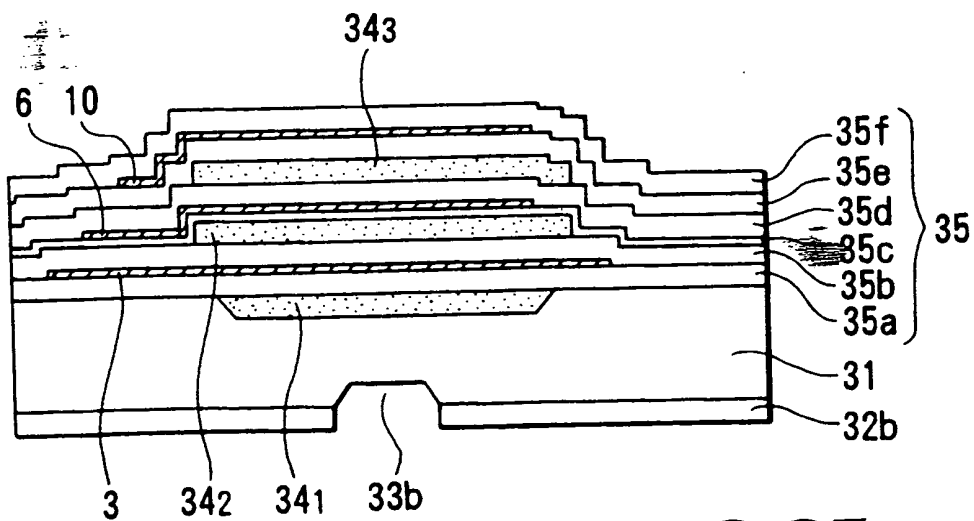


FIG. 35

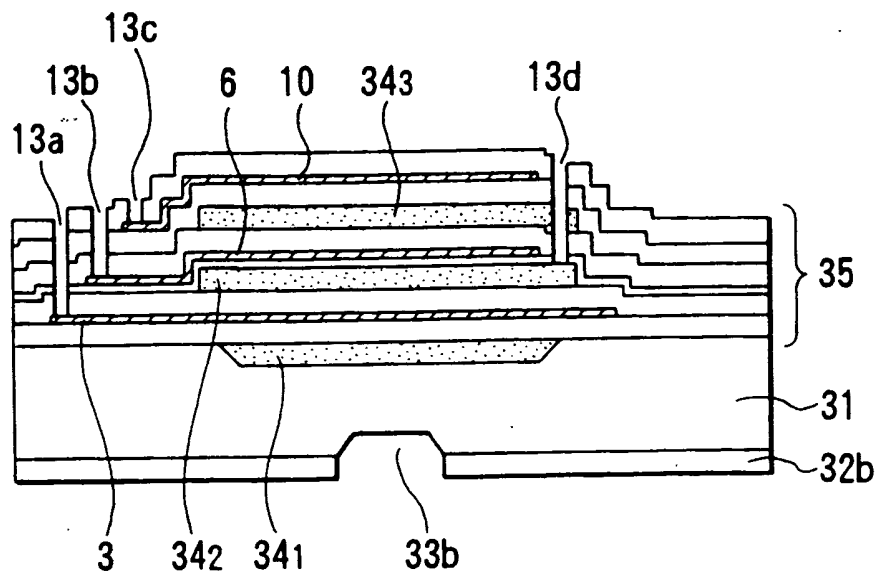


FIG. 36

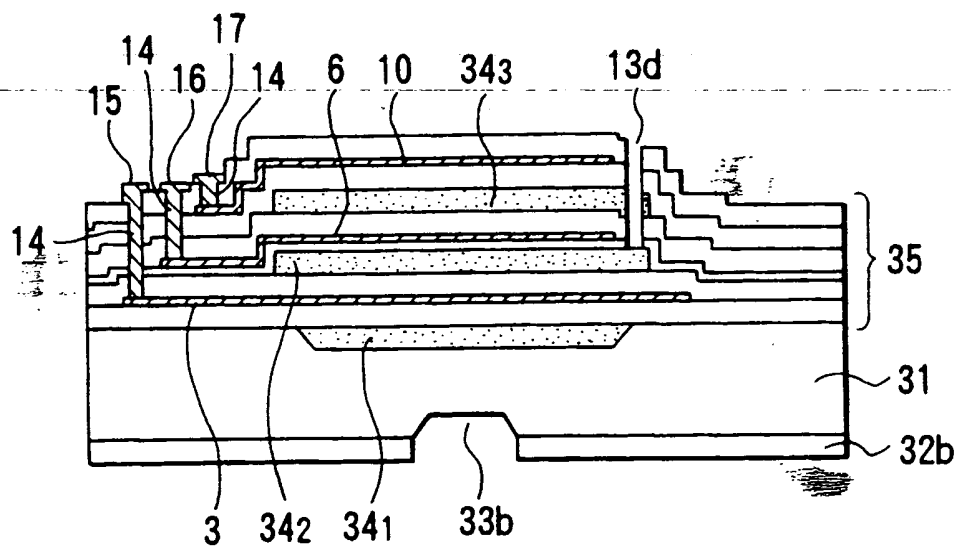


FIG. 37





19) FEDERAL REPUBLIC  
OF GERMANY  
[logo]  
GERMAN  
PATENT OFFICE

12) **Disclosure Document**

10) DE 42 27 819 A1

21) File no.:

22) Application date:

43) Disclosure date:

P 42 27 819.8

08/21/92

02/25/93

51) Int. Cl.<sup>5</sup>:

G 01 L 9/12

G 01 L 7/08

[stamp] Government property

30) Union priority: 32) 33) 31)  
08/22/91 JP P 233790/91

72)

Inventors:

Kimura, Shigeo; Ishikura, Yoshiyuki;

Kuroiwa, Takaaki; Suetaka, Satoshi;

Fukiura, Takeshi, Fujisawa, Kanagawa,

JP

71) Applicant:

Yamatake-Honeywell Co., Ltd., Tokyo, JP

74) Agents:

Kahler, K., Dipl.-Ing., 8948 Mindelheim; Käck, J.,

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing., 8910 Landsberg;

Fiener, J., Pat. Attorney, 8948 Mindelheim

Request for examination has been filed pursuant to § 44 Patent Code

54) Capacitive Pressure Sensor

52) The invention concerns a capacitive pressure sensor with a substrate (1), having at least one through hole (18) or one indentation (2) implemented in one surface of the substrate (1), a first thin-film membrane (4) implemented on the one surface of the substrate (1) and having an electrode (3), a second thin-film membrane (7) implemented over a first hollow part (5) on the first thin-film membrane (4) and having a first pressure introducing part (8) and a second electrode (6), and a third thin-film membrane (11) implemented over a second hollow part (9) on the second thin-film membrane (7) and having a second pressure introducing part (12) connected to the first pressure introducing part (8), and a third electrode (10) with a first capacitor implemented between the first and second electrode (3, 6) and a second capacitor implemented between the second and third electrode (6, 10). A capacitive pressure sensor with a compact design, high sensitivity, and high precision can, in this way, be realized at low cost.

[diagram]

## Description

The invention concerns a capacitive pressure sensor with a membrane structure which capacitively detects a pressure change to be measured.

A capacitive pressure sensor generally requires a measurement capacitor section to detect a pressure to be measured and a reference capacitor section for correction of environmentally-dependent characteristics which are not based on the pressure to be measured.

JP 63-3 05 229 A, for example, discloses a conventional capacitive pressure sensor which is manufactured by attaching a silicon disk to a glass disk. To form a capacitor structure, a membrane is located on the silicon disk. A measurement capacitor section is implemented on a central part of this capacitor structure and a reference capacitor section is implemented on its peripheral section.

In US 3 65 071, another capacitive pressure sensor is disclosed in which a measurement capacitor section and a reference capacitor section are positioned next to one another on a silicon disk.

The previously described conventional capacitive pressure sensors have, however, a composite structure which consists of multiple layers of bonded silicon/glass disks. Due to this design, a large number of components is required and the minimum membrane thicknesses and the minimum gap are, in practice, restricted to several  $\mu\text{m}$ . As a consequence, the capacitance is reduced with a reduction of the sensor size, resulting in a degradation of pressure sensitivity.

In addition, a large chip surface is required in capacitive pressure sensors in which the measurement and reference capacitor sections are positioned next to one another on the silicon disk, resulting in an increase in cost.

The invention has the task of providing, at low cost, a capacitive pressure sensor which has a compact design, high sensitivity, and high precision.

This task is solved by the characteristics of patent claims 1, 2, 3, and/or 4.

The capacitive pressure sensor comprises a section which converts a pressure into an electrical signal, as well as a section which corrects the environmentally-dependent characteristics which are not based on the pressure. The sections are vertically integrated, in that three thin-film membranes with corresponding electrodes are stacked in such a way that the second thin-film membrane is implemented over a hollow space on the first thin-film membrane and the third thin-film membrane is implemented over a hollow space on the second thin-film membrane.

Because, according to the invention, at least one thin-film membrane which forms a first and a second capacitor is displaced according to the pressure, the capacitances of the two capacitors differ from one another depending on the pressure.

In the following, the invention will be described in more detail with reference to the exemplary embodiments depicted in the drawings. These show:

**Fig. 1A** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to an exemplary embodiment;

**Fig. 1B** a sectional view along the line B-B' in

**Fig. 1A;**

**Fig. 2 [sic]** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to another exemplary embodiment;

**Fig. 2B** a sectional view along the line B-B' in Fig. 2A;

**Fig. 3A** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment;

**Fig. 3B** a sectional view along the line B-B' in Fig. 3A;

**Fig. 4A** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment;

**Fig. 4B** a sectional view along the line B-B' in Fig. 4A;

**Fig. 5A** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment;

**Fig. 5B** a sectional view along the line B-B' in Fig. 5A;

**Fig. 6A** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment;

**Fig. 6B** a sectional view along the line B-B' in Fig. 6A;

**Fig. 7A** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment;

**Fig. 7B** a sectional view along the line B-B' in Fig. 7A;

**Fig. 8A** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment;

**Fig. 8B** a sectional view along the line B-B' in Fig. 8A;

**Fig. 9A** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment;

**Fig. 9B** a sectional view along the line B-B' in Fig. 9A;

**Fig. 10 [sic]** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment;

**Fig. 10B** a sectional view along the line B-B' in Fig. 10A;

**Fig. 11A** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment;

**Fig. 11B** a sectional view along the line B-B' in Fig. 11A;

**Fig. 12A** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment;

**Fig. 12B** a sectional view along the line B-B' in Fig. 12A;

**Fig. 13A** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment;

**Fig. 13B** a sectional view along the line B-B' in Fig. 13A;

**Fig. 14** a sectional view which illustrates a step of the manufacturing process for the capacitive pressure sensor shown in **Figs. 1A** and **1B**;

**Fig. 15** a sectional view which illustrates another step in the process in **Fig. 14**;

**Fig. 16** a sectional view which depicts a further step in the process in **Fig. 14**;

**Fig. 17** a sectional view which reproduces a further step in the process in **Fig. 14**;

**Fig. 18** a sectional view which illustrates a further step in the process in **Fig. 14**;

**Fig. 19** a sectional view which shows a further step in the process in **Fig. 14**;

**Fig. 20** a sectional view which illustrates a further step in the process in **Fig. 14**;

**Fig. 21** a sectional view which shows a further step in the process in **Fig. 14**;

**Fig. 22** a sectional view which reproduces a further step in the process in **Fig. 14**;

**Fig. 23** a sectional view which shows a further step in the process in **Fig. 14**;

**Fig. 24** a sectional view which illustrates a step of the manufacturing process for the capacitive pressure sensor shown in **Figs. 4A** and **4B**;

**Fig. 25** a sectional view which illustrates another step in the process in **Fig. 24**;

**Fig. 26** a sectional view which reproduces a further step in the process in **Fig. 24**;

**Fig. 27** a sectional view which illustrates a further step in the process in **Fig. 24**;

**Fig. 28** a sectional view which shows a further step in the process in **Fig. 24**;

**Fig. 29** a sectional view which shows a further step in the process in **Fig. 24**;

**Fig. 30** a sectional view which reproduces a further step in the process in **Fig. 24**;

**Fig. 31** a sectional view which reproduces a further step in the process in **Fig. 24**;

**Fig. 32A** a top view which illustrates the layout of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment;

**Fig. 32B** a sectional view along the line B-B' in **Fig. 32A**;

**Fig. 33** a sectional view which illustrates a step of the manufacturing process for the capacitive pressure sensor shown in **Figs. 32A** and **32B**;

**Fig. 34** a sectional view which shows another step in the process in **Fig. 33**;

**Fig. 35** a sectional view which reproduces a further step in the process in **Fig. 33**;

**Fig. 36** a sectional view which illustrates a further step in the process in **Fig. 33**;

**Fig. 37** a sectional view which reproduces a further step in the process in **Fig. 33**;

**Fig. 38** a sectional view which illustrates a further step in the process in **Fig. 33**; and

**Fig. 39** a sectional view which reproduces a further step in the process in **Fig. 33**.

**Figs. 1B** [sic] and **1B** show the layout of a capacitive pressure sensor according to an exemplary embodiment of the invention. As can be seen from **Figs. 1A** and **1B**, a gap 2 is implemented as a flat third hollow space and/or intermediate space in a central part of the surface as a region of a substrate 1. This intermediate space has an almost rectangular shape and is implemented as U-shaped in cross-section. A first thin-film membrane 4 with a composite structure, consisting of a first thin-film electrode 3 positioned between insulating layers, is implemented on the surface of the substrate 1 over the gap 2. A peripheral part of the first thin film electrode 3 represents a fixed part, while the central part serves as a movable part. Over the first membrane 4, a second membrane 7 with a composite structure and a nearly rectangular shape is implemented as a whole over a gap 5 as a flat first hollow space.

This composite structure consists of a second thin-film electrode 6 positioned between insulating layers. In order to allow a connection with the gap 5 via the insulating layers and the second electrode 6, a number of second pressure introducing holes 8 are implemented in the second membrane 7. A third membrane 11 with a composite structure and an overall nearly rectangular shape is implemented above the second membrane 7 over a gap 9 as a second flat hollow space. This composite structure consists of a third thin-film electrode 10 which is inserted between insulating layers. In addition, in the third membrane 11, a number of third pressure introducing holes 12 are implemented in order to come into contact with the gap 9 via the insulating layers and the third electrode 10. It should be noted that in this case, the positions of the second pressure introducing holes 8 and those of the third pressure introducing holes 12 align with one another. In addition, holes 13 are implemented in the third membrane 11 positioned on the substrate which come into contact with the first, second, or third electrode, respectively, through the corresponding insulating layers. Corresponding conductor elements 14 are embedded in these openings 13. Corresponding electrode terminals 15, 16, and 17, which are electrically connected with the electrodes 3, 6, and 10, respectively, are implemented on the conductor elements 14. In the lower surface of the substrate 1, a first pressure introducing hole 18 is implemented which is in contact with the gap 2.

In this type of design, the measurement section is formed by a first capacitor in which the first electrode 3, positioned between the thin insulating layers, and the second electrode 6, positioned between the thin insulating layers, face one another over the gap 5; while a reference section is formed by a second capacitor in which the second electrode 6, inserted between the thin insulating layers, and the third electrode 10, inserted between the thin insulating layers, face one another over the gap 9. A surface a of the substrate 1 is hermetically sealed in such a way that the environments X and Y are separated from one another via the first membrane. In this design, the shape of the second and third membranes do not change due to a pressure difference existing between the environments X and Y, but the first membrane 4 is bent, so that the pressure can be determined by detection of the change in capacitance of the first capacitor caused by this membrane displacement. If, for example, a pressure is exercised by environment X on environment Y, the first membrane 4 will be deformed downward. As a consequence, the capacitance of the first capacitor will be reduced and the pressure can thereby be determined. In this case, the capacitance of the second capacitor does not change. If the medium to be measured contains moisture or other gases, the capacitances of the first and second capacitors change in the same way. Therefore, if the output values of the first and second capacitors are subtracted from one another, the characteristics of the base capacitor which are dependent on humidity can be corrected. In addition, because the measurement section and the reference section are in the same environment, a reference function can be guaranteed even if the environments X and Y are different.

If, in accordance with this type of design, a

pressure on the side of environment X is larger than a pressure on the side of environment Y, then a stepped part 1a, which the gap 2 forms in the substrate 1, forms a fixed stop. If the pressure on the side of environment X is lower than the pressure on the side of environment Y, then the second and third membranes 7 and 11 form a stop. With the aid of this design, stability with respect to excessive pressures affecting both sides can be guaranteed. As can be seen in Figs. 1A and 1B, the pressure introducing holes 12 implemented in the third membrane 11 align with the pressure introducing holes 8 implemented in the second membrane 7, with these holes positioned at equal distances from one another over the gaps 5 or 9, respectively. With the aid of this design, the necessary undercut length for the etching can be reduced, so the gaps 5 and 9 can thereby be reliably implemented. In addition, because the total area of the second and third pressure introducing holes 8 and 12 is small, a reduction of the capacitance relative to the case in which the pressure introducing holes 8 and 12 are not implemented can be minimized.

Figs. 2A and 2B show the design of a capacitive pressure sensor according to another exemplary embodiment of the invention, with the reference numbers in Figs. 2A and 2B indicating the same parts as in Figs. 1A and 1B. The design shown in Figs. 2A and 2B differs from the design shown in Figs. 1A and 1B in that the third pressure introducing holes 12 shown in the third membrane 11 in Fig. 1B are not implemented. Furthermore, a surface a of a substrate 1 is hermetically sealed in such a way that the environments X and Y are separated from one another via a first membrane 4 and the third membrane 11. In the same environment (sealed part), two measurement sections are implemented that are formed by a first and a second capacitor. The first capacitor consists of a first electrode 3 and a second electrode 6, and the second capacitor consists of the second electrode 6 and a third electrode 10.

In this design, the second membrane 7 is not deformed, while the third membrane 11 is bent due to the pressure difference between the environment X and the sealed part, and the first membrane 4 is bent due to the pressure difference between the environment X [sic] and the sealed part.

In such a design, because the measurement sections are in the sealed environment, their output characteristics are not influenced by the types of gases in the environments X and Y. Furthermore, because the electrodes which represent the two measurement sections are implemented in the same shape, the capacitances of the two measurement sections can simply be calibrated with one another.

Figs. 3A and 3B show the design of a capacitive pressure sensor according to another exemplary embodiment of the invention, with the reference numbers in Figs. 3A and 3B indicating the same parts as in Figs. 1A and 1B. The design shown in Figs. 3A and 3B differs from the design shown in Figs. 1A and 1B in that a first pressure introducing hole 18A with a large opening is implemented in a central part of the lower surface and/or a surface of a substrate 1 in place of the gap 2, whereby a suitable movable membrane part is formed. Furthermore, a surface a of

the substrate 1 is hermetically sealed in such a way that the environments X and Y are separated from one another by the first membrane 4. In the same environment (environment X), a measurement section formed by a first capacitor and a reference section formed by a second capacitor are provided. The first capacitor consists of a first electrode 3 and a second electrode 6, while the second capacitor consists of the second electrode 6 and a third electrode 10.

In this design, the second and third membranes 7 and 11 are not deformed by the pressure difference between the environments X and Y, while the first membrane 4 is bent. Furthermore, because the measurement section and the reference section are in the same environment, a reference function can be guaranteed even if the environments X and Y are of different types.

If, in such a design, the pressure on the side of environment X is lower than the pressure on the side of environment Y, then the second and third membranes 7 and 11 form a stop. In addition, the pressure introducing holes 12 in the third membrane 11 align with the pressure introducing holes 8 in the second membrane 7, with these holes positioned at equal distances from one another over the gaps 5 or 9, respectively. With the aid of this design, the necessary undercut length for the etching can be reduced and the gaps 5 and 9 can thereby be reliably implemented. Furthermore, because the total area of the second and third pressure introducing holes 8 and 12 is small, a reduction of the capacitance relative to the case in which the pressure introducing holes 8 and 12 are not implemented can be minimized. Because a safety mechanism against excessive pressure is only effective against a pressure on the side of environment Y, the utilization of this sensor is consequently restricted. Nonetheless, manufacturing of the sensor is simpler than for the design shown in Figs. 1A and 1B, with the first membrane 4 easily implemented as flat, without a stepped part.

Figs. 4A and 4B show the design of a capacitive pressure sensor according to another exemplary embodiment of the invention, with the reference numbers in Figs. 4A and 4B indicating the same parts as in Figs. 1A and 1B. The design shown in Figs. 4A and 4B differs from the design shown in Figs. 1A and 1B in that the first pressure introducing hole 18, which connects with the gap 2, is, in order to hermetically seal the gap 2, not implemented in the lower region and/or the other region of a substrate 1, thereby realizing an absolute pressure sensor. In addition, a measurement section formed by a first capacitor and a reference section formed by a second capacitor are implemented in the same environment (environment X). The first capacitor consists of a first electrode 3 and a second electrode 6, while the second capacitor consists of the second electrode 6 and a third electrode 10.

With the aid of this layout, the same results as described above can be achieved. In order to be able to resist an excessive pressure, a fixed stop can be implemented on a stepped part 1a of the substrate 1.

Figs. 5A and 5B show the design of a capacitive pressure sensor according to another exemplary embodiment of the invention, with the reference numbers

in Figs. 5A and 5B indicating the same parts as in Figs. 1A and 1B. The design shown in Figs. 5A and 5B differs from the design shown in Figs. 1A and 1B in that a second pressure introducing hole 8, which is connected with the gap 5, is implemented horizontally in a second membrane 7, and a third pressure introducing hole 12, which is connected with the gap 9, is implemented horizontally in a third membrane 11. Furthermore, a surface a of a substrate 1 is hermetically sealed, so that the environments X and Y are separated from one another via a first membrane 4. In the same environment (environment X), a measurement section having a first capacitor and a reference section having a second capacitor are implemented. The first capacitor consists of a first electrode 3 and a second electrode 6, while the second capacitor consists of the second electrode 6 and a third electrode 10.

In this exemplary embodiment, the second and third membranes 7 and 11 are not deformed due to the pressure difference between the environments X and Y, while the first membrane 4 is bent. In addition, because the measurement section and the reference section are in the same environment, a reference function can be guaranteed even if the environments X and Y are of different types.

If, in such a design, a pressure on the side of environment X is larger than a pressure on the side of environment Y, then the stepped part 1a of the substrate 1 forms a fixed stop. If a pressure on the side of environment X is lower than a pressure on the side of environment Y, then the second and third membranes 7 and 11 form a stop. Because the second pressure introducing hole 8 is implemented horizontally in the second membrane 7, in order to be connected with the gap 5, and the third pressure introducing hole 12 is implemented horizontally in the third membrane 11, in order to be connected with the gap 9, the gaps 5 and 9 and the second and third pressure introducing holes 8 and 12 can be implemented in the same manufacturing step. Furthermore, because the electrodes which represent the reference electrodes can be produced in the same shape, the capacitances of the two sections can easily be calibrated with one another.

Figs. 6A and 6B show the design of a capacitive pressure sensor according to another exemplary embodiment, with the reference numbers in Figs. 6A and 6B indicating the same parts as in Figs. 1A and 1B. The design shown in Figs. 6A and 6B differs from the design shown in Figs. 1A and 1B in that the third pressure introducing hole 12 in the third membrane 11 shown in Fig. 1B is not implemented, a first pressure introducing hole 18A with a relatively large opening is implemented in the other region of the substrate 1, without implementation of the stepped part 1a in the one region of substrate 1, and fourth pressure introducing holes 19, which are connected with the first pressure introducing hole 18A, are implemented in a first membrane 4. A surface a of the substrate 1 is hermetically sealed, so that the environments X and Y are separated from one another via a third membrane 11. In the same environment (environment Y), a measurement section having a second capacitor and a reference section having a first capacitor are implemented. The second



capacitor consists of a second electrode 6 and a third electrode 10. The first capacitor consists of a first electrode 3 and the second electrode 6.

In this design, the first and second membranes 4 and 7 are not deformed by the pressure difference between the environments X and Y, while the third membrane 11 is bent. In addition, because the measurement section and the reference section are in the same environment, a reference function can be guaranteed even if the environments X and Y are of different types.

If, in such a design, a pressure on the side of environment X is higher than a pressure on the side of environment Y, then the first and second membranes 4 and 7 form a stop. In addition, because an etching solution supply opening which is used in a manufacturing step is widened due to the first pressure introducing hole 18A, the manufacturing of the sensor is simplified in comparison to the design shown in Figs. 1A and 1B, and the first membrane 4 can easily be implemented as flat and planar, without forming stepped parts. Furthermore, the pressure introducing holes 19 implemented in the first membrane 4 align with the pressure introducing holes 8 implemented in the second membrane 7, with the holes positioned at equal distances under the gap 5 or 9, respectively. With the aid of this design, the required undercut etching length can be reduced, so that the gaps 5 and 9 can be reliably implemented. Because the total area of the fourth and second pressure introducing holes 19 and 8 is small, a reduction of the capacitance relative to the case in which the pressure introducing holes 19 and 8 are not provided can be minimized. Furthermore, the introduction of dust into the environment X can be prevented through this design.

Figs. 7A and 7B show the design of a capacitive pressure sensor according to another exemplary embodiment, with the reference numbers in Figs. 7A and 7B indicating the same parts as in Figs. 6A and 6B. The design shown in Figs. 7A and 7B differs from the design shown in Figs. 6A and 6B in that a first pressure introducing hole 18 with a gap 2 is implemented in a region of a substrate 1. In addition, surface a of the substrate 1 is hermetically sealed so that the environments X and Y are separated from one another via the third membrane 11. In the same environment (environment Y), a measurement section having a second capacitor and a reference section having a first capacitor are implemented. The second capacitor consists of a second electrode 6 and a third electrode 10. The first capacitor consists of a first electrode 3 and the second electrode 6.

In this design, the first and second membranes 4 and 7 are not deformed by the pressure difference between the environments X and Y, while the third membrane 11 is bent. In addition, because the measurement section and the reference section are located in the same environment, a reference function can be guaranteed even if the environments X and Y are of different types.

If, in such a design, a pressure on the side of the environment X is higher than a pressure on the side of the

environment Y, the first and second membranes 4 and 7 and a stepped part 1a of the substrate 1 form a fixed stop. If the opening of the first pressure introducing hole 18 in the surface a of the substrate 1 is reduced, the chip size of the substrate 1 can be reduced. Furthermore, the pressure introducing holes 19 implemented in the first membrane 4 align with the pressure introducing holes 8 implemented in the second membrane 7, with the holes located at equal distances under the gap 5 or 9, respectively. With the aid of this design, the required undercut etching length can be reduced, so that the gaps 5 and 9 can be reliably implemented. Due to a gap 2, the supply opening for the etching solution can be enlarged. Because the total area of the fourth and second pressure introducing holes 19 and 8 is small, a reduction of the capacitance relative to the case in which the pressure introducing holes 19 and 8 are not provided can be minimized.

Figs. 8A and 8B show the design of a capacitive pressure sensor according to another exemplary embodiment of the invention, with the reference numbers in Figs. 8A and 8B indicating the same parts as in Figs. 2A and 2B. The design shown in Figs. 8A and 8B differs from the design shown in Figs. 2A and 2B in that a first membrane 4 with a fourth pressure introducing hole 19, which is connected with a first pressure introducing hole 18, is implemented on a region of the substrate 1, while the gap 2 in Fig. 2B is not provided. In addition, a surface a of the substrate 1 is hermetically sealed so that the environments X and Y are separated from one another via the third membrane 11. In the same environment (environment Y), a measurement section having a second capacitor and a reference section having a first capacitor are implemented. The second capacitor consists of a second electrode 6 and a third electrode 10. The first capacitor consists of a first electrode 3 and the second electrode 6.

In this design, the first and second membranes 4 and 7 are not deformed by the pressure difference between the environments X and Y, while the third membrane 11 is bent. In addition, because the measurement section and the reference section are located in the same environment, a reference function can be guaranteed even if the environments X and Y are of different types.

If, in such a design, a pressure on the side of the environment X is higher than a pressure on the side of the environment Y, the first and second membranes 4 and 7 and the substrate 1 form a fixed stop. Because the total area of the second pressure introducing holes 8 is small, a reduction of the capacitance relative to the case in which the pressure introducing holes 8 are not implemented can be minimized. In addition, as described with reference to Figs. 3A and 3B, the first membrane 4 can be implemented flat and without realization of the stepped part 1a of the substrate 1.

Figs. 9A and 9B show the design of a capacitive pressure sensor according to another exemplary embodiment, with the reference numbers in Figs. 9A and 9B indicating the same parts as in Figs. 5A and 5B. The design shown in Figs. 9A and 9B differs from the design shown in Figs. 5A and 5B in that a fourth pressure introducing hole 19 in a first membrane 4, which is implemented on a region of the substrate 1,

and a second pressure introducing hole 8 in a second membrane 7 is formed as a continuation of the first pressure introducing hole 18, while a gap 2 is not provided. A surface a of the substrate 1 is hermetically sealed in such a way that the environments X and Y are separated from one another via the third membrane 11. In the same environment (environment Y), a measurement section having a second capacitor and a reference section having a first capacitor are implemented. The second capacitor consists of a second electrode 6 and a third electrode 10. The first capacitor consists of a first electrode 3 and the second electrode 6.

In this design, the first and second membranes 4 and 7 are not deformed by the pressure difference between the environments X and Y, while the third membrane 11 is bent. In addition, because the measurement section and the reference section are located in the same environment, a reference function can be guaranteed even if the environments X and Y are of different types.

If, in such a design, a pressure on the side of the environment X is higher than a pressure on the side of the environment Y, the first and second membranes 4 and 7 and the substrate 1 form a fixed stop. In addition, as described with reference to Figs. 3A and 3B, the first membrane 4 can be implemented flat without the stepped part 1a. Furthermore, because the electrodes which represent the reference electrodes can be implemented in the same shape, the capacitances of the two sections can easily be calibrated with one another.

Figs. 10A and 10B show the design of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment, with the reference numbers in Figs. 10A and 10B indicating the same parts as in Figs. 1A and 1B. The design shown in Figs. 10A and 10B differs from the design shown in Figs. 1A and 1B in that a first pressure introducing hole 18A with a large opening is implemented in a region of the substrate 1 in place of the gap 2, and a first membrane 4, in which the fourth pressure introducing holes 19 are implemented, which are connected with the first pressure introducing hole 18A, a second membrane 7, in which no pressure introducing holes are provided, and a third membrane 11, in which third pressure introducing holes 12 are implemented, are stacked on top of one another and thereby realize a suitable part having a movable membrane. Furthermore, a surface a of the substrate 1 is hermetically sealed in such a way that the environments X and Y are separated from one another via the second membrane 7. In different environments (environments X and Y), two measurement sections and/or parts are implemented which comprise a first capacitor and a second capacitor, respectively. The first capacitor consists of a first electrode 3 and a second electrode 6. The second capacitor consists of the second electrode 6 and a third electrode 10.

In this exemplary embodiment, the first and third membranes 4 and 11 are not deformed by the pressure difference between the environments X and Y, while the second membrane 7 is bent.

If, in such a design, a pressure on the side of the environment X is higher than a pressure on the side of the environment Y, the first membrane 4 forms a fixed stop. The capacitance of one of the two measurement sections increases with a change in pressure, while the

capacitance of the other measurement section decreases. In the same environment, the capacitances of the two measurement sections change in the same direction (increase or decrease) in relation to other error factors, which allows for simple error correction. Because the pressure introducing holes 19 in the first membrane 4 and the pressure introducing holes 12 in the third membrane 11 are positioned at the same distance relative to the gaps 5 and 9, the undercut etching length required can be reduced, so that the gaps 5 and 9 can be reliably implemented. Because the total area of the fourth pressure introducing holes 19 and the third pressure introducing holes 12 is small, a reduction of the capacitance relative to the case in which the pressure introducing holes 19 and 12 are not implemented can be minimized. Furthermore, a so-called zero offset compensation pressure measurement process can be used in addition to the process of the conversion of the displacement of the second membrane 7 into an electrical signal representing a change in capacitance. In the zero offset compensation pressure measurement process, an electrostatic attractive force  $F_1$ , which is generated corresponding to a potential difference  $V_1$  between the first and second electrodes 3 and 6, and an electrostatic attractive force  $F_2$ , which is generated corresponding to a potential difference  $V_2$  between the second and third electrodes 6 and 10, are controlled in such a way that the capacitance of the first capacitor and/or the capacitance of the second capacitor is kept constant, and a pressure based on the potential difference  $V_1$  and/or the potential difference  $V_2$  is obtained. If the gaps 5 and 9 are very small, then this process can be used with the design of the present invention because the electrostatic attractive forces are sufficiently large. Because no membranes are deformed in this process, various error factors related to the stiffness of each membrane can be ignored. It is generally known that the zero offset compensation (zero offset correction) pressure measurement process allows for highly precise, highly sensitive measurement. It should be noted that the substrate 1 can have the same shape as shown in each of the Figs. 7A to 9A and therefore correspondingly displays the same properties. In this exemplary embodiment, the first hollow space (gap 5) is in contact with environment Y and the second hollow space (gap 9) is in contact with environment X. Even if the first hollow space is in contact with environment X and the second hollow space is in contact with environment Y, the same properties as in this exemplary embodiment can be achieved.

Figs. 11A and 11B show the design of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment, with the reference numbers in Figs. 11A and 11B indicating the same parts as in Figs. 1A and 1B. The design shown in Figs. 11A and 11B differs from the design shown in Figs. 1A and 1B in that a conductive thin film 20 is implemented on the surface of a third membrane 11. This conductive thin film 20 is arranged so that it is not implemented on the first, second, and third electrode terminals 15, 16 and/or 17 and their peripheral parts, and it does not close off and/or seal the third pressure introducing holes 12.

With the aid of this design, the same properties as described above, as well as

an electrostatic shielding effect due to the conductive thin film 20, can be achieved. In addition, the film 20 serves as reinforcement for the third membrane 11.

The design shown in Figs. 11A and 11B includes the conductive thin film 20 in addition to the design illustrated in Figs. 1A and 1B. This conductive thin film 20 can be provided in every design in the Figs. 2A to 10A.

Figs. 12A and 12B show the design of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment, with the reference numbers in Figs. 12A and 12B indicating the same parts as in Figs. 1A and 1B. The design shown in Figs. 12A and 12B differs from the design shown in Figs. 1A and 1B in that a stop 21 is implemented on the surface of a third membrane 11. In this design, the third pressure introducing holes 12 are in contact with an environment X.

According to this design, the stiffness of the third membrane 11 is increased, so that it serves as a fixed stop if the pressure on the side of the environment Y is significantly higher than the pressure on the side of the environment X.

The design shown in Figs. 12A and 12B includes the stop 21 as an addition to the design illustrated in Figs. 1A and 1B. The same stop 21 can be provided in the respective designs in Figs. 2A to 5B, and in the design shown in Figs. 11A and 11B, which corresponds to the respective designs in Figs. 2A to 5B.

Figs. 13A and 13B show the design of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment, with the reference numbers in Figs. 13A and 13B indicating the same parts as in Figs. 1A and 1B. The design shown in Figs. 13A and 13B differs from the design shown in Figs. 1A and 1B in that a stop 21 is implemented on a third membrane 11 over a gap 22 as a fourth hollow space. In this design, the third pressure introducing holes 12 are in contact with an environment X.

If a pressure on the side of the environment Y is significantly higher than a pressure on the side of the environment X, then, according to this design, the stop 21 serves as a fixed stop structure, while the stiffness of the third membrane 11, which lies over the gap 9, is hardly changed.

The design shown in Figs. 13A and 13B includes the stop 21 as an addition to the design illustrated in Figs. 1A and 1B. This stop 21 can, however, also be provided in the respective designs in the Figs. 2A to 11B.

Figs. 14 to 23 illustrate a process for the manufacture of the pressure sensor illustrated in Figs. 1A and 1B. The reference numbers in Figs. 14 to 23 indicate the same parts as in Figs. 1A and 1B. As is visible in Fig. 14, a film 32, consisting of, for example, SiNx, is implemented on the upper and lower surfaces of, for example, a silicon disk 31 serving as substrate 1. As shown in Fig. 15, predetermined masks 32a and 32b are realized by means of a known photoetching process. As is illustrated in Fig. 16, the upper and lower surfaces of the silicon disk 31 are etched using these masks 32a and 32b in order to generate etch pits 33a and 33b with predetermined depths. Subsequently, a sacrificial and/or filler layer material is embedded

in the etch pit 33a in the upper surface of the silicon disk 31 in order to realize a first filler layer 34<sub>1</sub>, as is illustrated in Fig. 17. As is visible from Fig. 18, a first electrode 3 is implemented on the upper surface of the silicon disk 31, in which the filler layer 34<sub>1</sub> is provided, with the aid of a typical thin-film process in such a way that a conducting film is enclosed between a first and a second insulating film 35a and 35b, respectively. As is visible from Fig. 19, after a filler layer material is deposited on the second insulating layer 3b [sic], the resulting assembly is etched by means of a known photoetching process, in order to generate a second filler layer 34<sub>2</sub> with a predetermined shape. As is shown in Fig. 20, a third insulating film 35c, a second electrode 6, and a fourth insulating film 35d are sequentially applied to the second insulating film 3b [sic], on which the second filler layer 34<sub>2</sub> is provided, through a typical thin-film process. Through the repeated performance of steps which are similar to those described previously, a third filler layer 34<sub>3</sub>, a fifth insulating film 35e, a third electrode 10, and a sixth insulating film 35f are sequentially applied to the fourth insulating film 35d. As illustrated in Fig. 21, openings 13a, 13b, 13c, and 13d are implemented, from the uppermost part of the resulting assembly, which respectively reach the first electrode 3, the second electrode 6, the third electrode 10, and the second filler layer 34<sub>2</sub>. As is visible from Fig. 22, conductor elements 14 are subsequently embedded correspondingly in the openings 13a, 13b, and 13c, while corresponding electrode terminals 15, 16, and 17, which are electrically connected with the first, second, and third electrode 3, 6, and 10, respectively, are implemented on the conductor elements 14. As is illustrated in Fig. 23, the gaps 5 and 9 are implemented through removal of the second and third filler and/or sacrificial layer 34<sub>4</sub> and 34<sub>3</sub> by means of wet etching using the opening 13d. Subsequently, the etch pit 33b provided in the lower surface of the silicon disk 31 is enlarged to a first pressure introduction hole 18, which reaches the first filler layer 34<sub>1</sub>, with this filler layer 34<sub>1</sub> removed through wet etching via the first pressure introduction hole 18 to form a gap 2, so that the capacitive pressure sensor shown in Figs. 1A and 1B results, in which the vertical reference capacitor is integrated.

Figs. 24 to 31 illustrate a process for the manufacture of the capacitive pressure sensor shown in Figs. 4A and 4B. The reference numbers in Figs. 24 to 31 indicate the same parts as in Figs. 4A and 4B. As is shown in Fig. 24, a SiNx film 32 is implemented by means of CVD on a surface of a substrate consisting of, for example, a silicon disk 31. As is visible in Fig. 25, a predetermined SiNx mask 32a is realized by means of a known photoetching process. A surface of the silicon disk 31 is etched using the mask 32a, whereby, as is visible from Fig. 26, an etch pit 33a with a predetermined depth is realized. After removal of the mask 32a, a filler and/or sacrificial layer material is applied to the silicon disk, whereupon the filler layer material, with the exception of the filler layer material deposited in the etch pit 33, is removed, thereby generating a first filler layer 34<sub>1</sub>. As is visible in Fig. 28, a first insulating layer 35<sub>1</sub> is implemented on the surface of the silicon disk 31, in which the first filler layer 34<sub>1</sub> is embedded, by means of

a typical vacuum thin-film process. As shown in Fig. 29, an opening 36 is implemented in the first insulating layer 34<sub>1</sub> [sic], which is in contact with the first filler layer 34<sub>1</sub>. As is visible from Fig. 30, after the first filler layer 34<sub>1</sub> is etched away via the opening 36, a second insulating layer 35<sub>2</sub> is implemented on the first insulating layer 35<sub>1</sub> with the aid of a typical vacuum thin-film process, whereby the gap and/or hollow space 2 is generated, as is illustrated in Fig. 31. Subsequently, a compact capacitive pressure sensor in which a vertical reference capacitor is integrated is manufactured by the performance of the steps described in connection with Fig. 18 and the following figures. In this case, the step of etching the silicon disk 31 shown in Fig. 23 is not performed.

Figs. 32A and 32B show the design of a capacitive pressure sensor according to a further exemplary embodiment, with the reference numbers in Figs. 32A and 32B indicating the same parts as in Figs. 1A and 1B. The design shown in Figs. 32A and 32B differs from the design shown in Figs. 1A and 1B in that the second and third pressure introducing holes 8 and 12 shown in Fig. 1B are not implemented in the second and third membranes 7 and 11, and the second membrane 7 is attached and/or implemented in a hollow space formed by the gaps 5 and 9. The same atmosphere, such as, for example, a vacuum or a noble gas, is kept sealed in this hollow space, so that the environments X and Y are separated from one another via the first and third membranes 4 and 11. Two measurement sections are implemented in the same environment which have a first and second capacitor, respectively. The first capacitor consists of a first electrode 3 and a second electrode 6. The second capacitor consists of the second electrode 6 and a third electrode 10.

In this design, the first and third membranes 4 and 11, as upper and lower parts, are displaced due to the pressure difference present between the environments X and Y, while the second membrane 7, as the middle part, is fixed. As a consequence, both the capacitance between the second and third membranes 7 and 11 and the capacitance between the first and second membranes 4 and 7 change. The pressure difference between the environments X and Y can be determined by detection of these capacitances.

According to this design, the same atmosphere, such as, for example, a vacuum or a noble gas, is hermetically sealed between the second and third membranes 7 and 11 and between the first and second membranes 4 and 7, so that the environments X and Y are separated from one another. Even if the atmosphere, such as, for example, the relative humidity in the environments X and Y, changes, the capacitance between the second and third membranes 7 and 11 and the capacitance between first and second membrane 4 and 7 are not influenced at all. This means that errors will not be caused by changes in the environment, such as, for example, by changes in humidity.

Figs. 33 to 39 illustrate a process for manufacturing the capacitive pressure sensor shown in Figs. 32A and 32B. The reference numbers in Figs. 33 to 39 which correspond to those in Figs. 32A and 32B refer to the same parts. To manufacture the design shown in Fig. 33, the same steps are performed as are depicted in Figs. 14 to 17

of the earlier exemplary embodiment. Subsequently, as is visible from Fig. 34, a filler and/or sacrificial layer material is applied to the second insulating layer 35b and the resulting assembly is etched by means of a known photoetching process in order to realize a second filler layer 34<sub>2</sub>, which is slightly larger than the first filler layer 34<sub>1</sub> provided in the etch pit 33a. As is visible from Fig. 35, a third insulating layer 35c, a second electrode 6, and a fourth insulating layer 35d are applied sequentially to the second insulating layer 35b, on which the second filler layer 34<sub>2</sub> is implemented. After a third filler layer 34<sub>3</sub>, which is almost the same size as the second filler layer 34<sub>2</sub>, is implemented on the fourth insulating layer 35d, steps similar to those described above are repeatedly performed in order to apply a fifth insulating layer 35e, a third electrode 10, and a sixth insulating layer 35f sequentially to the fourth insulating layer 35d. As is shown in Fig. 36, the openings 13a, 13b, 13c, and 13d extend, respectively, from the uppermost part of the resulting assembly to the first electrode 3, to the second electrode 6, to the third electrode 10, and to the second filler layer 34<sub>2</sub>. Subsequently, conductor elements 14 are correspondingly embedded in the openings 13a, 13b, and 13c, as is illustrated in Fig. 37. Corresponding electrode terminals 15, 16, and 17, which are electrically connected with the first, second, and third electrodes 3, 6, and 10, respectively, are implemented on these conductor elements 14. As is visible from Fig. 38, the second and third filler layers 34<sub>2</sub> and 34<sub>3</sub> are removed by means of wet etching through the opening 13d in order to realize the gaps 5 and 9. Subsequently, the etch pit 33b in the lower surface of the silicon disk 31 is etched by means of wet etching in order to realize the first pressure introducing hole 18, which reaches the first filler layer 34<sub>1</sub>. In addition, this first filler layer 34<sub>1</sub> is removed using the first pressure introducing hole 18 to realize the gap 2. Subsequently, a drying process is carried out and the opening 13d is sealed with an insulating element 36, while a vacuum or a noble gas is kept in the hollow space formed by the gaps 5 and 9. In this way, the compact capacitive pressure sensor shown in Fig. 32, in which the vertical reference capacitor is integrated, is obtained.

In the exemplary embodiment described above, the upper surface of the silicon substrate (disk) 31 is provided with an etch pit 33a having a U-shaped cross-section, which is filled with the filler layer 34<sub>1</sub>. However, a silicon disk of n-type can, for example, be used as silicon disk 31, and p-impurities can be selectively diffused into the disk at high concentration in order to obtain a diffused layer which can be used as a buried layer. In this case, the buried layer is removed as follows. First, in the silicon disk 31 of n-type, an opening is implemented which extends from its lower surface to the buried layer. The buried layer is then selectively etched and/or removed, using an etching solution consisting of hydrofluoric acid, nitric acid, and acetic acid in a ratio of 1:3:8, in order to thereby produce the gap 2. With the aid of this process, the same design as described above can be produced.

In the exemplary embodiments described above, each movable membrane has a rectangular shape. Alternatively, however, a round or



polygonal shape can also be selected.

Furthermore, in each of the previously described exemplary embodiments, a through hole or a depression is implemented in the substrate. It is, however, also conceivable that the same effects could also be achieved through a design in which both a through hole and a depression are implemented in the substrate.

As described above, according to the invention, three membranes are applied to the substrate as a stack and a vertical reference capacitor is integrated, thereby realizing a highly precise, compact, and economical capacitive pressure sensor in which the dependence of the base capacitance on environmentally-dependent error factors, such as, for example, humidity, is low.

#### Patent claims

1. Capacitive pressure sensor, **characterized by**

- a substrate (1), having at least one through hole (18) or one depression (2) implemented in one region of the substrate (1),
- a first thin-film membrane (4), implemented on the one region of the substrate (1) and having an electrode (3),
- a second thin-film membrane (7), implemented over a first hollow part (5) on the first thin-film membrane (4) and having a first pressure introducing part (8) and a second electrode (6), and
- a third thin-film membrane (11), implemented over a second hollow part (9) on the second thin-film membrane (7) and having a second pressure introducing part (12) in contact with the first pressure introducing part (8), as well as a third electrode (10),
- with a first capacitor implemented between the first and second electrodes (3, 6) and a second capacitor implemented between the second and third electrodes (6, 10).

2. Capacitive pressure sensor, characterized by

- a substrate (1), having at least one through hole (18) or one depression (2) implemented in one region of the substrate (1),
- a first thin-film membrane (4), implemented on the one region of the substrate (1) and having a first pressure introducing part (19) in contact with the through hole (18), as well as a first electrode (3),
- a second thin-film membrane (7), implemented over a first hollow part (5) on the first thin-film membrane (4) and having a second pressure introducing part (8) in contact with the first pressure introducing part (19), as well as a second electrode (6),
- a third thin-film membrane (11), implemented over a second hollow part (9) on the second thin-film membrane (7) and having a third electrode (10),
- with a first capacitor implemented between the first and second electrode (3, 6) and a second capacitor implemented between the second

and third electrodes (6, 10).

3. Capacitive pressure sensor, characterized by
  - a substrate (1) having a through hole (18) in contact with a first external part or a depression,
  - a first thin-film membrane (4) implemented on one side of the substrate (1) and having a first pressure introducing part (19), which is in contact with the through hole (18), as well as a first electrode (3),
  - a second thin-film membrane (7), implemented over a first hollow part (5) on the first thin-film membrane (4) and having a second pressure introducing part (8) in contact with the first pressure introducing part (19), as well as a second electrode (6),
  - a third thin-film membrane (11), implemented over a second hollow part (9) on the second thin-film membrane (7) and having a third pressure introducing part (12), which is in contact with a second external part, as well as a third electrode (10),
  - with a first capacitor implemented between the first and second electrode (3, 6) and a second capacitor implemented between the second and third electrodes (6, 10).
4. Capacitive pressure sensor, characterized by
  - a substrate (1), having at least one through hole (18) or one depression (2) implemented in one region of the substrate (1),
  - a first thin-film membrane (4), implemented on the one region of the substrate (1) and having a first electrode (3),
  - a second thin-film membrane (7), implemented over a first hollow part (5) on the first thin-film membrane (4) and having a first pressure introducing part (8) and a second electrode (6), and
  - a third thin-film membrane (11), implemented over a second hollow part (9) on the second thin-film membrane (7) and having a third electrode (10),
  - with a first capacitor implemented between the first and second electrodes (3, 6) and a second capacitor implemented between the second and third electrodes (6, 10).

22 page(s) of drawings attached